

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:
ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL BLOQUE “G” DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR,
EMPLEANDO EL SOFTWARE MIDAS GTS NX**

**AUTOR:
ROSETO NARVÁEZ JORGE ANDRÉS**

**TUTOR:
FREDDY ISRAEL RODRÍGUEZ BADILLO**

Quito, julio del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Rosero Narváez Jorge Andrés, con documento de identificación N° 171689302-7, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL BLOQUE “G” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CAMPUS SUR, EMPLEANDO EL SOFTWARE MIDAS GTS NX, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, julio del 2021



.....

Jorge Andrés Rosero Narváez

CI: 171689302-7

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN DEL BLOQUE “G” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR, EMPLEANDO EL SOFTWARE MIDAS GTS NX realizado por Jorge Andrés Rosero Narváez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, julio del 2021



Firma

Rodríguez Badillo Freddy Israel

CI: 1720094026

DEDICATORIA

Lleno de alegría, esperanza y amor, dedico este proyecto a mis seres queridos quien son los pilares de mi vida.

A mis padres José Miguel Rosero y Beatriz Narváez, porque ellos son la motivación y la fuerza de mi vida mi orgullo de ser.

A mis hermanos Verónica, Carina, Xavier agradecerles por su confianza prestada en mí para lograr culminar mi meta.

A mi familia por confiar en mi a mis abuelas Luzmila Gutiérrez e Isabel Durán, mis tíos Manuel, Isabel, Marcia, Ana, Edgar, Victoria, Teresa y Gladys al estar en los momentos más difíciles, gracias a mis primos y amigos por ser parte de mi vida

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación y alcance de la investigación	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos.....	2
CAPÍTULO II	4
DESCRIPCIÓN GENERAL.....	4
2.1 Tipo de Investigación.....	4
2.2 Ubicación	4
2.3 Topografía	5
2.4 Geología.....	8
2.5 Configuración estructural.....	9
2.5.1 Cimentación y muros	10
2.5.2 Columnas	12
2.5.3 Losa.....	14
CAPÍTULO III.....	16

BASE TEÓRICA PARA EL ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....16

3.1	Asentamientos.....	16
3.1.1	Asentamiento elástico o inmediato	18
3.1.2	Asentamiento por Consolidación.....	22
3.1.3	Asentamiento Uniforme.....	23
3.1.4	Asentamiento Diferencial	23
3.1.5	Distorsión Angular	23
3.2	Causas de los asentamientos	23
3.2.1	Asentamiento por peso propio y cargas muertas permanentes	25
3.2.2	Movimientos por contenido de agua.....	26
3.3	Consecuencias de asentamientos diferenciales.....	26
3.4	Modelación Numérica.....	31
3.4.1	Metodología MIDAS GTS NX.....	31
3.4.2	Modelos constitutivos	31
3.4.3	Método de los elementos finitos	34
3.4.4	Propiedades de los materiales	36
3.4.5	Solid Elements	37

CAPÍTULO IV38

EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA E INFORMACIÓN DE MECÁNICA DE

SUELOS 38

4.1	Perforaciones.....	38
4.1.1	Descripción de las perforaciones	40
4.2	Ensayos de mecánica de suelos.....	43
4.2.1	Clasificación SUCS	43
4.3	Descripción del perfil litológico.	43
4.3.1	Estratigrafía de 0 – 2 m de profundidad.....	44
4.3.2	Estratigrafía de 2 – 4 m de profundidad.....	44
4.3.3	Estratigrafía de 4 – 6 m de profundidad.....	44
4.3.4	Estratigrafía de 6 – 8 m de profundidad.....	44
4.3.5	Estratigrafía de 8 – 10 m de profundidad.....	44
4.3.6	Estratigrafía de 0 – 2 m de profundidad nuevo estudio	44
4.3.7	Estratigrafía de 2 – 5 m de profundidad nuevo estudio	45
4.3.8	Estratigrafía de 5 – 7 m de profundidad nuevo estudio	45
4.3.9	Estratigrafía de 7 – 10.3 m de profundidad nuevo estudio	46
4.3.10	Estratigrafía de 10.3 m en adelante nuevo estudio.....	46
4.3.11	Diferencias en los ensayos dos ensayos realizados.....	46
4.4	Granulometría	47
4.5	Propiedades mecánicas	49
4.6	Capacidad de carga admisible.....	49
4.7	Módulo de elasticidad E.....	50

4.8	Coeficiente de Balasto	51
4.9	Resumen de Resultados	52
CAPÍTULO V.....		54
ESCENARIOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA		54
5.1	Procesamiento de datos.....	54
5.2	Modelo Fin de Construcción.....	54
5.2.1	Método Subestructura	54
5.2.2	Método Directo con nivel freático N-10.3 m.....	55
5.2.3	Método directo con variación de nivel freático	55
CAPÍTULO VI.....		56
CONFIGURACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS.....		56
6.1	Elementos 1D.....	58
6.2	Elementos 2D.....	59
6.3	Elementos 3D.....	60
6.4	Generación modelo subestructura.....	61
6.5	Generación de modelo con método directo	62
6.5.1	Generación del mallado	65
CAPÍTULO VII		68
RESULTADOS		68
7.1	Escenario 1 método subestructura fin de construcción.....	68

7.1.1	Asentamientos elásticos método subestructura fin de construcción	69
7.1.2	Momentos método subestructura fin de construcción	73
7.1.3	Axial método subestructura fin de construcción.....	75
7.2	Escenario 2 método directo fin de construcción	76
7.2.1	Esfuerzos en el suelo de cimentación y vigas de cimentación método directo fin de construcción.....	77
7.2.2	Asentamientos elásticos método directo fin de construcción	79
7.2.3	Momentos método directo fin de construcción.....	86
7.2.4	Axial método directo fin de construcción.....	88
7.3	Escenario 3 método directo con variación nivel freático.....	89
7.3.1	Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-5.6 m.....	90
7.3.2	Asentamientos elásticos método directo con NF n-5.6 m.....	92
7.3.3	Momentos método directo con NF n-5.6 m.....	95
7.3.4	Axial método directo con NF n-5.6 m	97
7.3.5	Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-10.6 m.....	98
7.3.6	Asentamientos elásticos método directo con NF n-10.6 m.....	100
7.3.7	Momentos método directo con NF n-10.6 m.....	103
7.3.8	Axial método directo con NF n-10.6 m	105
7.3.9	Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-12.6 m....	106
7.3.10	Asentamientos elásticos método directo con NF n-12.6 m.....	108

7.3.11	Momentos método directo con NF n-12.6 m en eje G.....	111
7.3.12	Axial método directo con NF n-12.6 m	113
CAPÍTULO VIII.....		114
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		114
8.1	Comparación de resultados	114
CONCLUSIONES.....		117
RECOMENDACIONES		120
REFERENCIAS.....		122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1

Elementos estructurales y resistencia a la compresión	9
---	---

Tabla 2

Dimensiones de vigas de cimentación	10
---	----

Tabla 3

Ubicación y dimensionamiento de columnas	13
--	----

Tabla 4

Tipo y dimensiones de losas Bloque G	14
--	----

Tabla 5

Mecanismos generados de asentamiento	17
--	----

Tabla 6

Causas de asentamiento	23
------------------------------	----

Tabla 7

Daños potenciales producto del agrietamiento.	27
--	----

Tabla 8

Asentamientos admisibles	28
--------------------------------	----

Tabla 9

Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, L.	29
--	----

Tabla 10

Nivel freático	43
----------------------	----

Tabla 11	
Diferencias en los ensayos	46
Tabla 12	
Contenido de porcentaje de finos.....	47
Tabla 13	
Suelo caracterizado bajo Bloque G.....	49
Tabla 14	
Correlaciones Phi y C con N_{spt}	51
Tabla 15	
Resumen propiedades mecánicas.....	52
Tabla 16	
Cuadro de resumen de materiales	57
Tabla 17	
Asentamientos elásticos en columnas subestructura fin de construcción.....	70
Tabla 18	
Asentamientos diferenciales entre columnas modelo subestructura.....	71
Tabla 19	
Asentamientos elásticos bajo columnas método directo fin de construcción	79
Tabla 20	
Asentamientos diferenciales entre columnas método directo fin de construcción	80
Tabla 21	
Asentamientos elásticos en columnas método directo NF n-5.6 m	92

Tabla 22

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo NF n-5.6 m	93
--	----

Tabla 23

Asentamientos elásticos en columnas método directo NF n-10.6 m	100
--	-----

Tabla 24

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo NF n-10.6 m	101
---	-----

Tabla 25

Asentamientos elásticos en columnas método directo con NF n-12.6 m	108
--	-----

Tabla 26

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo con NF n-12.6 m.....	109
--	-----

Tabla 27

Resumen de axiales, momentos en columnas y vigas de los métodos.....	114
--	-----

Tabla 28

Resumen de asentamientos diferenciales y máximos	115
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	
Levantamiento topográfico	6
Figura 2	
Perfil longitudinal corte P1-P1'	6
Figura 3	
Perfil transversal corte A1-A1'	7
Figura 4	
Perfil transversal corte A2-A2'	7
Figura 5	
Edificio de aulas Bloque G	8
Figura 6	
Vigas de cimentación	11
Figura 7	
Cimentación Bloque G.....	11
Figura 8	
Detalle vigas de cimentación	11
Figura 9	
Detalle de muros y desnivel de desplante de cimentación.....	12
Figura 10	
Detalle de columnas	13
Figura 11	
Losa Tipo	14

Figura 12	
Corte típico de losa	15
Figura 13	
Relación V_{max} y canto (h)	19
Figura 14	
Variación de F_1 con H/B	21
Figura 15	
Variación de F_2 con H/B	21
Figura 16	
Valores de α r para relaciones L/B	22
Figura 17	
Tipos de grietas en edificaciones	30
Figura 18	
Modelos constitutivos más generales.....	32
Figura 19	
Modelos constitutivos software MIDAS	32
Figura 20	
Implantación puntos de perforaciones	39
Figura 21	
Nuevo ensayo de SPT	40
Figura 22	
LOG sondeo 3	41

Figura 23	
LOG sondeo 4	41
Figura 24	
LOG sondeo 5	42
Figura 25	
Perfil estratigráfico suelo Bloque G.....	48
Figura 26	
Herencia fotográfica excavación de vigas de cimentación	56
Figura 27	
Tipos de Materiales	57
Figura 28	
Propiedades de los materiales tipo 1D	58
Figura 29	
Sección elementos tipo Beam	59
Figura 30	
Propiedades de los materiales tipo 2D tipo SHELL	60
Figura 31	
Propiedad de elementos en 3D.....	61
Figura 32	
Modelo subestructura.....	62
Figura 33	
Coordenadas de las perforaciones.....	63

Figura 34	
Topografía en Terrain Geometry Maker	64
Figura 35	
Estratos del terreno Bloque G	64
Figura 36	
Terreno y estructura del Bloque G	65
Figura 37	
Tamaño del mallado	66
Figura 38	
Modelo directo	67
Figura 39	
Modelo método subestructura fin de construcción	68
Figura 40	
Asentamientos en vigas de cimentación método subestructura fin de construcción	69
Figura 41	
Asentamientos con resorte método subestructura fin de construcción	70
Figura 42	
Momentos de vigas en pórtico eje H método subestructura fin de construcción.....	73
Figura 43	
Momentos de columnas en pórtico eje H método subestructura fin de construcción.....	74
Figura 44	
Axiales en pórtico eje H método subestructura fin de construcción.....	75

Figura 45	
Modelo método directo fin de construcción	76
Figura 46	
Esfuerzos en vigas de cimentación método directo fin de construcción	77
Figura 47	
Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo fin de construcción.....	78
Figura 48	
Asentamientos elásticos en vigas de cimentación método directo fin de construcción.....	79
Figura 49	
Ubicación columna G8	82
Figura 50	
Fisurado alrededor de la columna G8	83
Figura 51	
Daños en mampostería continua a la columna G8.....	84
Figura 52	
Asentamiento diferencial áreas aledañas a columna G8 método directo fin de construcción	84
Figura 53	
Asentamientos en estructura método directo fin de construcción	85
Figura 54	
Momentos en columnas en pórtico eje H método directo fin de construcción.....	86
Figura 55	
Momentos de vigas en pórtico eje H método directo fin de construcción.....	87

Figura 56	
Axiales en pórtico eje H método directo fin de construcción	88
Figura 57	
Modelo método directo con variación nivel freático	89
Figura 58	
Esfuerzos en vigas de cimentación método directo con NF n-5.6 m.....	90
Figura 59	
Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-5.6 m.....	91
Figura 60	
Asentamientos elásticos en vigas de cimentación método directo NF n-5.6 m.....	92
Figura 61	
Momentos de columnas en pórtico eje H método directo NF n-5.6 m	95
Figura 62	
Momentos de vigas en pórtico eje H método directo NF n-5.6 m.....	96
Figura 63	
Axiales en pórtico eje H método directo con NF n-5.6 m	97
Figura 64	
Esfuerzos en vigas de cimentación método directo con NF n-10.6 m.....	98
Figura 65	
Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo NF n-10.6 m.....	99
Figura 66	
Asentamientos elásticos bajo vigas de cimentación método directo NF n-10.6 m.....	100

Figura 67	
Momentos de columnas en pórtico eje H método directo NF n-10.6 m	103
Figura 68	
Momentos de vigas en pórtico eje H método directo NF n-10.6 m.....	104
Figura 69	
Axiales de columnas en pórtico eje H método directo NF n-10.6 m.....	105
Figura 70	
Esfuerzos en vigas de cimentación método directo con NF n-12.6 m.....	106
Figura 71	
Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo NF n-12.6 m.....	107
Figura 72	
Asentamientos elásticos bajo vigas de cimentación método directo con NF n-12.6 m.....	108
Figura 73	
Momentos de columnas en pórtico eje H método directo con NF n-12.6 m	111
Figura 74	
Momentos de vigas en pórtico eje H método directo con NF n-12.6 m	112
Figura 75	
Axiales de columnas en pórtico eje H método directo con NF n-12.6 m	113
Figura 76	
Fisurado mampostería exterior Bloque G	116
Figura 77	
Propuesta de inyecciones de hormigón en cimentación	120

RESUMEN

Ha surgido cierta inquietud por la funcionalidad del Bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur, ya que se han presentado ciertas fisuras en esta estructura, probablemente por asentamientos excesivos o asentamientos diferenciales, por esta razón se realiza el análisis a partir de datos proporcionados por el Laboratorio de Suelos de la Universidad para cotejar la información y corroborar con modelos de elementos finitos generados con la ayuda del software MIDAS GTS NX, en el cual se generan situaciones geotécnicas que experimenta el edificio.

Simulando varios escenarios en diferentes modelos, obteniendo resultados que permitieron comprender la interacción del suelo y la estructura. Los asentamientos diferenciales experimentados por la edificación no conllevan a una problemática, están en rango admisibles propuestos por las normas vigentes.

Palabra clave: Software MIDAS GTS NX

ABSTRACT

Has emerged a concern by the functionality of the Block G of the Universidad Politecnica Salesiana sede Quito South Campus, as they have been presented some cracks in this structure, probably due to settlements excessive or settlements differential, for this reason, the analysis is carried out on the basis of data provided by the Laboratory of Soils from the University to collate the information and corroborate with finite element models generated with the help of the software, MIDAS GTS NX, which generate situations geotechnical experiencing the building.

Simulating several scenarios in different models, obtaining results that allowed understanding the interaction of soil and structure. The differential settlements experienced by the building do not lead to a problem, they are in admissible range proposed by the current regulations.

Keyword: Software MIDAS GTS NX

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

Las obras civiles, durante sus etapas presentan asentamientos en el suelo de cimentación donde se haya planificado su implantación. Según esta primicia la edificación denominada Bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur en su elaboración presentó asentamientos, y en el transcurso del tiempo ha sufrido este fenómeno.

Se realizó un análisis geotécnico para asegurar que estos asentamientos que sufrió no causen un problema a futuro. Este análisis se lo realizó con datos de ensayos como SPT, clasificación SUCS, límites de Atterberg y Triaxial UU proporcionados por el laboratorio de suelos de la misma Universidad Salesiana y ensayos realizados por el Ing. Fernando Gonzales Moya.

Procesando estos datos con el software MIDAS GTS NX, que posee una interfaz de modelado que otorga el utilizar métodos de elementos finitos para un análisis más satisfactorio, preciso y eficiente. Genera resultados detallados requeridos para estabilidad como fuerzas cortantes, deformaciones y factores de seguridad. Se puede analizar la interacción suelo-estructura durante las etapas constructivas y adicionalmente análisis tiempo historia no lineales

1.2 Antecedentes.

El suelo siempre presenta deformaciones cuando es sujeto a esfuerzos, por más pequeños que sean estas. El fenómeno como se conoce a estas deformaciones se llama asentamientos. Estos asentamientos son productos de cargas estáticas que transmite la super estructura, sus efectos son más visibles a largo tiempo cuando han sido contruidos sobre suelos blandos y compresibles, susceptibles a efectos del fenómeno de consolidación. La caracterización física y mecánica del subsuelo es uno de los principales factores que permiten un diseño óptimo de la cimentación de las estructuras.

Para conseguir esta caracterización, se debe tener conocimiento del tipo de proyecto y la variabilidad de los estratos en el terreno de implantación, según las normas vigentes al momento de la ejecución del proyecto.

1.3 Justificación y alcance de la investigación

Un análisis geotécnico en obras civiles post construcción, conlleva a un grado de seguridad para el constructor y a la población que usa el servicio de las estructuras. Con este precedente ha surgido la necesidad de un análisis geotécnico de una edificación de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito Campus Sur, denominada Bloque G, que presenta cierto fisurado en la periferia de dicha estructura, por lo que conlleva a un estudio sobre el fenómeno de asentamiento que ha sufrido esta edificación y si son causales de este agrietamiento. Con el software especializado en geotecnia MIDAS GTS NX, se evaluó la seguridad del suelo de cimentación de la estructura.

Del análisis realizado se procederá a sugerir soluciones, si fuera necesario, de una intervención por daños ocasionados por el fenómeno de asentamiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Analizar geotécnicamente la cimentación del Bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campus Sur, empleando el software MIDAS GTS NX, con la finalidad de verificar la seguridad y funcionalidad de la estructura.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Caracterizar el perfil geotécnico del suelo de cimentación, sus propiedades físicas y mecánicas de acuerdo con los ensayos realizados por parte del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la

Universidad Politécnica Salesiana y ensayos realizados por el Ing. Fernando Gonzales Moya.

- Revisar la información de las dimensiones de los elementos estructurales, las cargas en los planos estructurales de la edificación.
- Realizar una inspección visual de los elementos estructurales del Bloque G, con equipos de nivelación para detectar los supuestos asentamientos diferenciales.
- Verificar según la normativa vigente NEC – 15 los asentamientos permisibles para el tipo de estructura, que no superen los valores permisibles, comprobando que estén entre los parámetros tolerables.
- Elaborar modelos numéricos geotécnicos en las diferentes etapas constructivas que se presentaron en la estructura con un software especializado en geotecnia MIDAS GTS NX, para asentamientos inmediatos y de consolidación.
- Sugerir posibles soluciones a través de la presentación de este análisis geotécnico para el mejoramiento del suelo de cimentación de la edificación, en caso de ser necesario.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN GENERAL

2.1 Tipo de Investigación

Comportamiento geotécnico del subsuelo de la cimentación donde se encuentra ubicada la edificación denominada “Bloque G” de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur.

La información de los ensayos realizados por el Laboratorio de Suelo de la Universidad Salesiana permitió la ejecución del presente trabajo técnico, adicionalmente se realizó recopilación de estudios de suelos, planos estructurales y arquitectónicos, bibliografía especializada, fuentes como tesis de grado, folletos y revistas especializadas, estudios relacionados con el tema de análisis, estudios geotécnicos en el área de estudio, realizadas por la Universidad Politécnica Salesiana o empresas privadas.

El análisis se realizó con el software MIDAS GTS NX, la información que se tomó para la realización de modelos en este software fue del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana y del Ing. Fernando Gonzales Moya.

2.2 Ubicación

La edificación se encuentra en el campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana, en la parroquia Chillogallo.

Figura 1

Ubicación Universidad Politécnica Salesiana



Nota. La figura muestra la ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana, campus sur, entre las avenidas Moran Valverde y Rumichaca Nã. Elaborado por: El autor, a través de Google Maps.

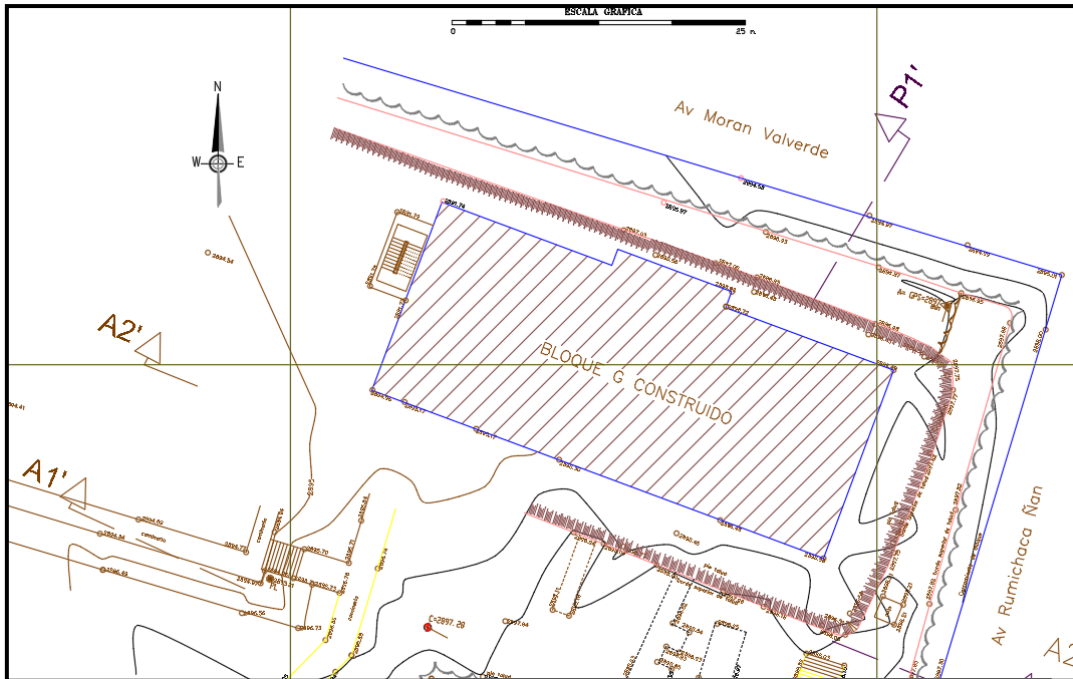
2.3 Topografía

El terreno donde se implantó la edificación es ligeramente regular algo ondulado, presenta una gradiente en el sentido Sur-Norte de -7%, y en el sentido Este-Oeste de 3% aproximadamente.

Presenta un desnivel, aproximadamente 4 m desde la cota 2894 msnm a 2898 msnm de toda la extensión levantada topográficamente y recubierta de una capa vegetal.

El área de implantación se encuentra en la cabeza de un talud, con un desnivel de 1.50 m

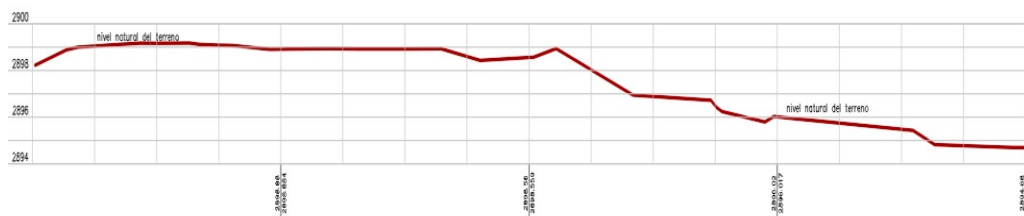
Levantamiento topográfico



Nota. La figura muestra el levantamiento topográfico y la implantación del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 2

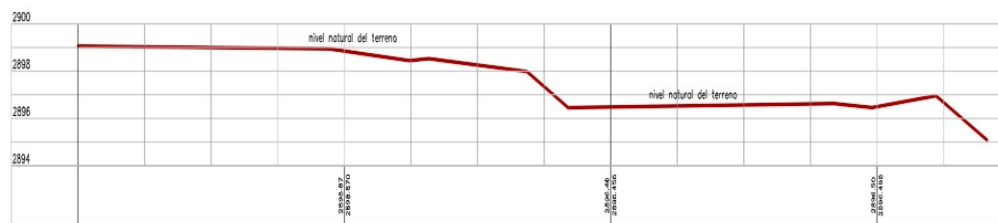
Perfil longitudinal corte P1-P1'



Nota. La figura muestra el perfil longitudinal Suroeste a Noreste del terreno levantado topográficamente del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 3

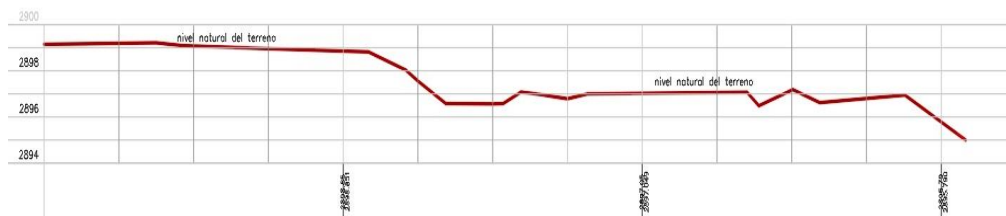
Perfil transversal corte A1-A1´



Nota. La figura muestra el perfil transversal A1-A1´ con dirección Noroeste a Sureste del terreno levantado topográficamente del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 4

Perfil transversal corte A2-A2´



Nota. La figura muestra el perfil transversal A2-A2´ con dirección Noroeste a Sureste del terreno levantado topográficamente del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 5

Edificio de aulas Bloque G



Nota. La figura muestra una fotografía de la fachada posterior del bloque G. Elaborado por: El autor.

2.4 Geología

Este sector de la ciudad de Quito se encuentra formado por depósitos sedimentarios lacustres y cangagua lagunar de ceniza del Holoceno, donde se encuentra recubierta de forma paralela a la superficie. En el centro de la cuenca sur de Quito se aprecia afloramientos de cangagua primaria, así como cangagua secundaria de color café oscuro.

Es una capa areno limosa de color marrón semi compacta, con menor cantidad de arcilla con presencia de pómez de hasta 20 mm. Existen mezclas de capas de grava, arena y arcilla de espesores de hasta 2 m. Existe la presencia de estratigrafía pseudohorizontal y gradación normal. Son arenas limosas y limos arenosos, de color amarillento a marrón, variando según el contenido de humedad. Con mucha frecuencia presenta niveles de pómez y lapilli. ((Avilés Ponce, 2013)

Son suelos colapsables y se definen como “los suelos no saturados susceptibles a una gran reducción de su volumen de manera repentina ante un incremento en el contenido de humedad del material” Day, R. (2000) Geotechnical and foundation engineering design and construction.

Este tipo de colapso que se presenta puede ser de asientos milimétricos hasta decimétricos y en casos extraordinarios de metros. Generalmente se caracterizan por tener una estructura macroporosa mal acomodada, muy abierta y predominantemente una granulometría fina, que en condiciones secas presentan un comportamiento resistente debido a la cementación que ocurre al rellenarse los espacios vacíos con partículas mucho más finas o con cristales de sulfato, lo que forma una cementación pobre o soluble con el agua.

La inestabilidad que pueden presentar este tipo de suelos se debe al aumento de presiones, variación de presión de poros y la interacción química entre el líquido que lo satura y la fracción arcillosa.

2.5 Configuración estructural

Los elementos estructurales de la edificación Bloque G, están conformados de hormigón armado, cada una de ellas con una resistencia cilíndrica a la compresión detallada a continuación.

Tabla 1

Elementos estructurales y resistencia a la compresión

Elemento	$f'c$ (kg/cm ²)
Replanteo	280
Cimentación	280
Vigas	280
Plintos	280
Muros	280
Columnas	280
Losa	280

Nota. Elementos estructurales que conforman la estructura del bloque G y su resistencia a la compresión. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

El acero de refuerzo utilizado en la estructura tiene una fluencia de $f_y=4200$ kg/cm²

2.5.1 Cimentación y muros

La cimentación ejecutada en esta edificación fue de vigas de cimentación, con dos niveles de desplante de la cimentación por recomendación del último estudio de suelos realizado, hay una diferencia de 1.90 m entre los niveles de desplante de las cimentaciones.

La cimentación soporta las cargas de las columnas, también es soporte de muros perimetrales de 0.25 m de espesor que son parte de la estructura, más adelante se observa el detalle de los muros y la diferencia de desniveles del desplante de la cimentación

Tabla 2

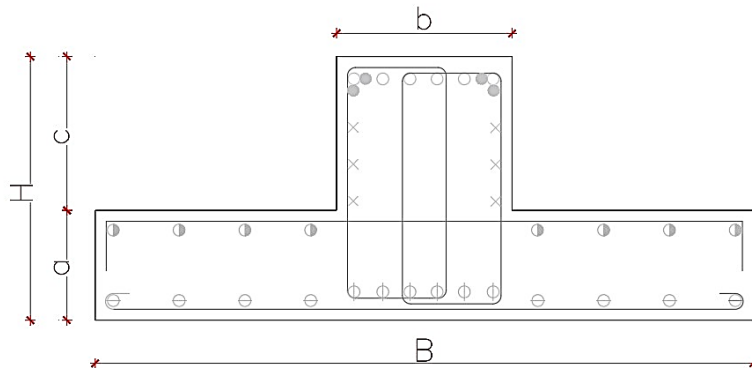
Dimensiones de vigas de cimentación

Ubicación	Dimensión (m)				
	H	B	a	b	c
VC-1, VC-7	1.20	4.0	0.50	0.80	0.70
VC-2, VC-3	1.20	5.0	0.50	0.80	0.70
VC-5, VC-6	1.20	2.3-2.4	0.50	0.80	0.70
VC-8	1.20	3.0	0.50	0.80	0.70
VC-I, VC-F	1.20	3.0-3.30	0.50	0.80	0.70
VC-G, VC-H	1.20	8.0	0.50	0.80	0.70
VC-Y, VC-Z	1.20	3.0	0.50	0.40	0.70

Nota. Dimensiones de vigas de cimentación del bloque G, ubicación por ejes. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 6

Vigas de cimentación

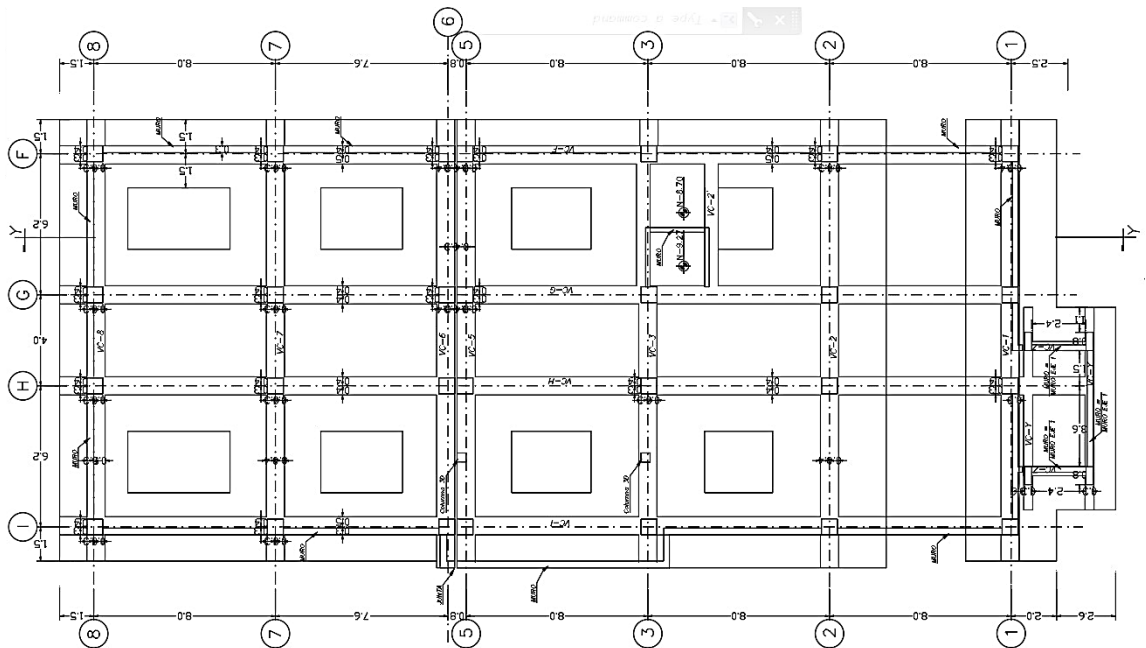


Nota. Detalle de las dimensiones representativas de una viga de cimentación del bloque G.

Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 7

Cimentación Bloque G



Nota. Vista en planta vigas de cimentación del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

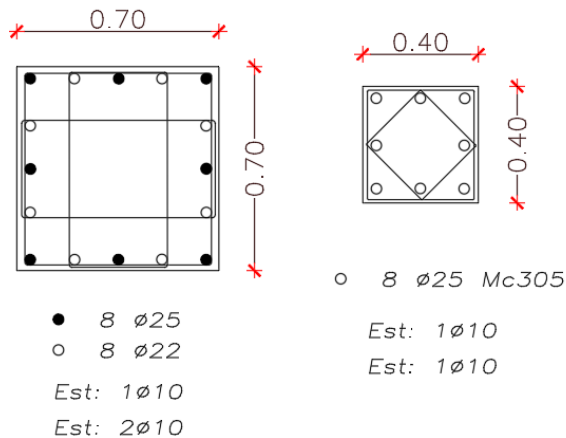
Figura 8

Detalle vigas de cimentación

Tabla 3*Ubicación y dimensionamiento de columnas*

Ubicación	Dimensiones (m)
F1-G1-H1-I1	0.70/0.70
F2-G2-H2-I2	0.70/0.70
F3-G5-F5	0.70/0.70
F7-G7-H7-I7	0.70/0.70
F8-G8-H8-I8	0.70/0.70
H3-I3-H5-I5	0.70/0.70
G3	0.70/0.70
G2'	0.2/1.20
Columnas para viga de descanso	0.40/0.40

Nota. Dimensiones de columnas del bloque G, ubicación por ejes. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 10*Detalle de columnas*

Nota. Detalle de columnas del bloque G con sus respectivas medidas. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

El armado de las columnas está conformado por varillas de acero con diámetro de 25 mm y 22 mm, en cada cara de las columnas se colocan 3 varillas de 25 mm y dos de 22 mm, con estribos de 10 mm en forma rectangular. Las columnas con menor dimensión están conformadas por 8 varillas de diámetro de 25 mm y con estribos de 10 mm de forma rómbica.

2.5.3 Losa

La estructura está conformada por paneles de losas alivianadas, unidas por una junta de dilatación ubicada entre el eje 5 y 6, esto produce dos cuerpos de forma rectangular independientes pero que trabajan de forma conjunta, las dimensiones de cada losa se presentan a continuación:

Tabla 4

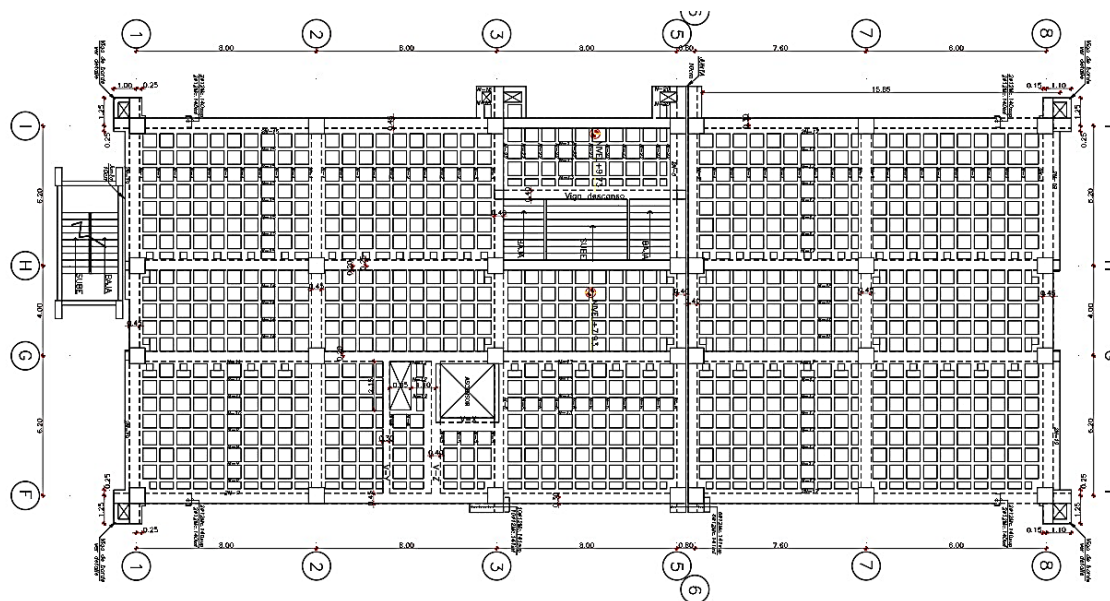
Tipo y dimensiones de losas Bloque G

Tipo	X-X (m)	Y-Y (m)
Losa 1	24.70	17.15
Losa 2	16.50	17.15

Nota. Dimensiones de losas alivianadas del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 11

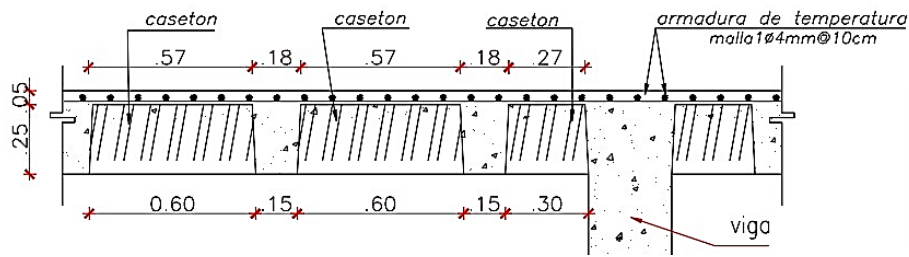
Losa Tipo



Nota. Losa tipo con paneles alivianados del bloque G. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

Figura 12

Corte típico de losa



Nota. Detalle de losa alivianada tipo del bloque G con sus respectivas medidas. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

CAPÍTULO III

BASE TEÓRICA PARA EL ANÁLISIS GEOTÉCNICO

3.1 Asentamientos

Los suelos experimentan deformaciones o cambios en su volumen cuando son sometidos a esfuerzos que son aplicados sobre ellos.

Se contempla en la mayoría de los casos, que los suelos no poseen resistencia a la tensión, por lo tanto, se enfocan los estudios en las particularidades de la deformación por compresión.

Existen dos tipos de deformación, la primera es con variación de volumen que presenta el suelo, pero preservando su forma, y segundo el suelo cambia de forma, pero mantiene su volumen constante. No obstante, en términos reales los procesos se presentan simultáneamente. Los asentamientos provocados por las cargas impuestas por una construcción se dividen generalmente en tres tipos:

- Asentamiento inmediato o elástico: Este fenómeno se presenta en horas o días, en cualquier tipo de suelo grueso o fino.
- Asentamiento por consolidación primaria: Se puede presentar en años en suelos de media a baja permeabilidad generalmente en suelos arcillosos plásticos con condiciones de drenaje y saturados.
- Asentamiento por consolidación secundaria: Se presenta después que el agua drenable es expulsada del suelo. Esto puede ocurrir con el tiempo con una tensión efectiva constante en suelos arcillosos plásticos con condiciones de drenaje y saturados.

En forma general, el asentamiento total puede expresarse de la siguiente manera:

Ecuación 1

Asentamiento total

$$S = S_e + S_c + S_s$$

Fuente: (Velasco, 2015)

S_e : Asentamiento inmediato

S_c : Asentamiento por consolidación primaria

S_s : Asentamiento por consolidación secundaria

Una breve descripción de los mecanismos generadores de asentamiento se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5

Mecanismos generados de asentamiento

Causa	Forma como se produce		Magnitud del asentamiento	Velocidad del asentamiento
Carga estructural	Deformación (cambio de forma de la masa de suelo)		Calcular por la teoría elástica	Instantánea
	Consolidación: Cambio en la relación de vacíos	Inicial	De la curva de compresibilidad	De la curva tiempo-asentamiento
		Primaria	De la curva de compresibilidad	Calcular por la teoría de Terzaghi
		Secundaria	De la curva tiempo-asentamiento	De la curva tiempo-asentamiento
Carga debida al medio	Retracción debida al secado		Estimar de la curva de compresibilidad y límite de pérdida de humedad por retracción	Igual a la velocidad de secado (rar vez se puede estimar)
	Consolidación debida al descenso del nivel freático		Calcular de la curva de compresibilidad	Calcular por la teoría de Terzaghi

Nota. Mecanismos generadores de asentamiento, como se producen, magnitud del fenómeno y velocidad en que se produce Fuente: (Delgado Vargas, 1996)

3.1.1 Asentamiento elástico o inmediato

La compresión ocurre de inmediato después de la aplicación de la carga. Movimiento vertical debido a la deformación (vertical) elástica del medio poroso. En este tipo de asentamiento la deformación elástica vertical es relevante a otra deformación (Geotecnia I 2019/2020 Dr. Lorenzo Borselli). Para emplear esta teoría, se realizan algunas hipótesis sobre el suelo:

- i. Es considerado un medio elástico
- ii. El suelo es un medio continuo
- iii. El suelo es un material homogéneo
- iv. El suelo es un material isotrópico
- v. La relación esfuerzo-deformación del suelo es lineal

Para una estimación del asentamiento elástico también se debe tomar en cuenta el tipo de cimentación si es rígida o flexible por lo cual en algunas bibliografías se expone como resolver el cálculo de asentamientos inmediatos con esta consideración de las cimentaciones, como en el libro Principios de Ingeniería de Cimentaciones de Braja M. Das, en el cual dice, teóricamente, si la profundidad de la cimentación se considera despreciable $D_f=0$, el espesor del estrato es sumamente grande $H=\infty$ por lo tanto la cimentación se considera perfectamente flexible. (Salas Vazquez & Caldas Calle, 2010)

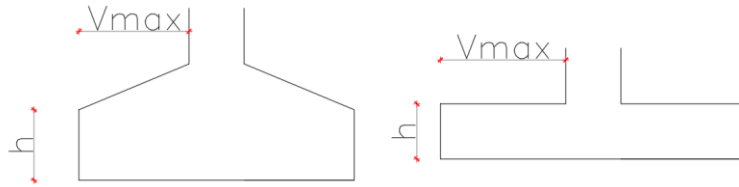
Hay dos criterios para la consideración de cimentación flexible o rígida, la primera es con la relación del vuelo (V_{max}) y el canto (h):

$$\text{Rígido } V_{max} < 2 \cdot h$$

$$\text{Flexible } V_{max} \geq 2 \cdot h$$

Figura 13

Relación V_{max} y canto (h)



Nota. Detalle de la relación entre el vuelo máximo (V_{max}) y el canto (h) de una zapata.

Elaborado por: El autor.

Sin embargo, esta clasificación tiene relación con las normas estructurales y no toma en cuenta la interacción suelo estructura, por lo tanto, la segunda interpretación es:

Rígido $V_{max} < \alpha \cdot h$

Flexible $V_{max} \geq \alpha \cdot h$

Siendo α

$$\alpha = \frac{1}{2.2} \left(\frac{Eh}{E} \right)^{1/3}$$

Fuente: (Zapata, 2019)

E: Modulo de elasticidad del suelo de cimentación

Eh: Modulo de elasticidad del material de la cimentación

Esta expresión se acerca a la interpretación de una cimentación rígida o flexible con la interacción suelo-estructura.

Una zapata se considera rígida si existe una ley de presiones triangulares, que supone que la presión varia de manera uniforme, por lo tanto, para el cálculo de la ley de presiones no es necesario recurrir a métodos de interacción suelo-estructura, pero en el caso de zapatas flexibles es necesarios recurrir a métodos de interacción suelo-estructura como lo expuesto anteriormente.

3.1.1.1 Asentamiento en la mitad de la cimentación flexible

Se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 2

Asentamiento en la mitad de la cimentación flexible

$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} (1 - v_s^2) * \alpha_1$$

Fuente: (Das, 2001)

3.1.1.2 Asentamiento en la esquina de la cimentación flexible

Ecuación 3

Asentamiento esquina de la cimentación flexible

$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} (1 - v_s^2) * \frac{\alpha_1}{2}$$

Fuente: (Das, 2001)

3.1.1.3 Asentamiento promedio de una cimentación flexible

Ecuación 4

Asentamiento promedio de la cimentación flexible

$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} (1 - v_s^2) * \alpha_{prom}$$

Fuente: (Das, 2001)

El asentamiento de una cimentación flexible tanto en el centro como en la esquina se puede expresar con la siguiente ecuación:

Ecuación 5

Asentamiento en el centro y la esquina de una cimentación flexible

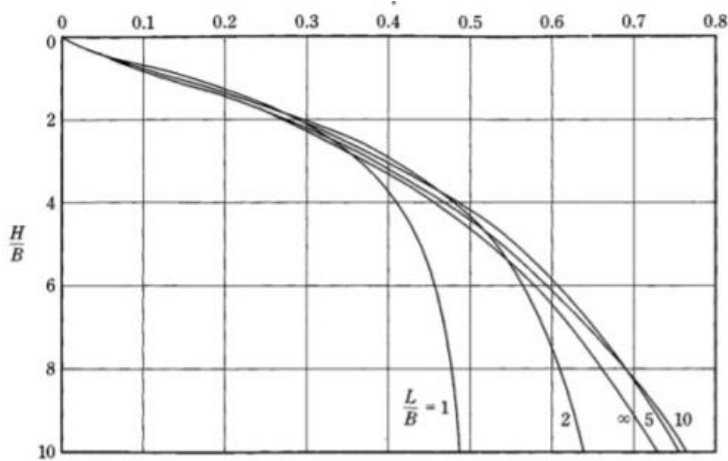
$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} (1 - v_s^2) * [(1 - v_s^2) * (F_1 + (1 - v_2 - v_s^2) * F_2]$$

Fuente: (Das, 2001)

Las variaciones de F_1 y F_2 se logran obtener de las siguientes gráficas,

Figura 14

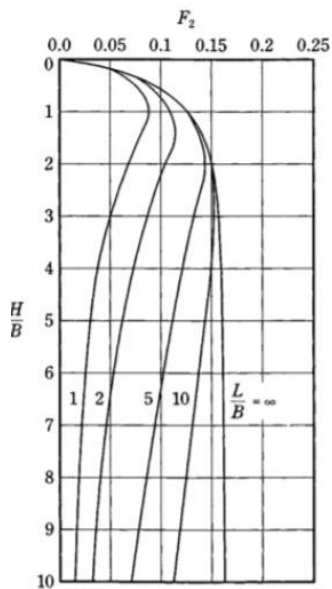
Variación de F_1 con H/B



Nota: Grafica para obtener coeficiente F_1 con la relación base y altura para cimentaciones flexibles. Fuente: (Das, 2001)

Figura 15

Variación de F_2 con H/B



Nota: Grafica para obtener coeficiente F_2 con la relación base y altura para cimentaciones flexibles. Fuente: (Das, 2001)

3.1.1.4 Asentamiento bajo la cimentación rígida

Se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 6

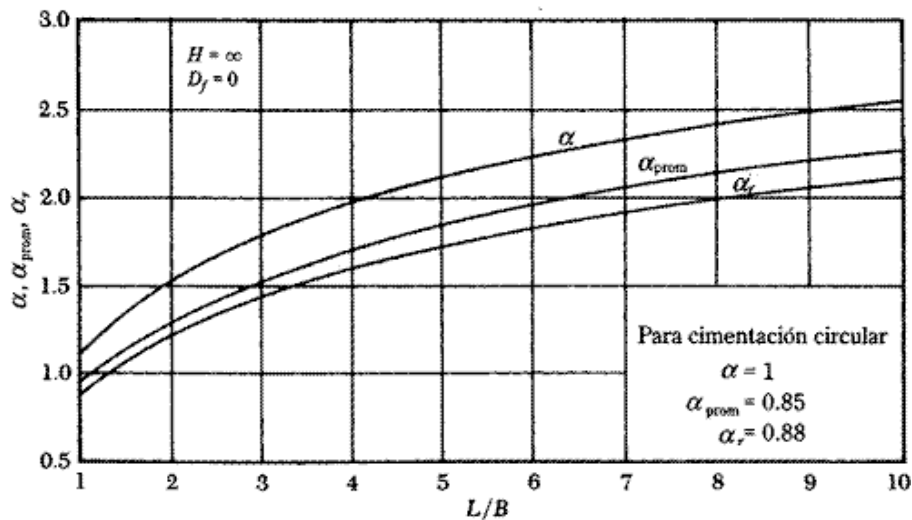
Asentamiento bajo la cimentación rígida

$$S_e = \frac{B * q_o}{E_s} (1 - v_s^2) * \alpha_r$$

Fuente: (Das, 2001)

Figura 16

Valores de α_r para relaciones L/B



Nota: Grafica para obtener coeficiente α_r con la relación largo y base para cimentaciones rígidas. Fuente: (Das, 2001)

3.1.2 Asentamiento por Consolidación

El análisis por consolidación para este estudio no se realizó ya que no cumple con dos de las tres condiciones:

- i. El suelo encontrado en los ensayos es un Limo areno – arcilloso (ML-CL).
- ii. No existe una sobrecarga considerable en el suelo de cimentación.

3.1.3 Asentamiento Uniforme

Constituye un descenso vertical de la toda la estructura en forma similar en todos los puntos de apoyo con el suelo de cimentación, este tipo de asentamiento produce daños en instalaciones de servicio sin una afectación severa a la estructura como tal, generando problemas más estéticos que estructurales en las obras civiles que padecen este fenómeno.

3.1.4 Asentamiento Diferencial

Los asentamientos diferenciales se producen por deformaciones relativas de dos diferentes cimientos, estos si no son tolerables pueden causar daños significativos en la estructura y acabados. Se relacionan con una distribución particular de las cargas estáticas, la rigidez de la cimentación y la variabilidad de las características del suelo de cimentación.

3.1.5 Distorsión Angular

Este fenómeno es desencadenado especialmente por las deformaciones diferenciales que se producen en la masa del suelo debido a la rigidez de la estructura de la cimentación, esto produce una fuerza de momento que tiende a girar o voltear la estructura.

3.2 Causas de los asentamientos

En la siguiente tabla se muestra las diferentes causas de asentamientos de cimentaciones realizado por U.S. Army Corps Of Engineers.

Tabla 6

Causas de asentamiento

Causa	Descripción
Compresión del suelo debajo de la fundación, bajo la acción de cargas estáticas	Suelos suaves, arcillas normalmente consolidadas y suelos compresibles. Limos sueltos, arenas y gravas.
Compresión de arcillas suaves, producto del descenso en el contenido de humedad	El incremento de los esfuerzos efectivos produce asentamientos sin un correspondiente incremento en la carga sobre la superficie.

Causa	Descripción
Compresión de suelos no cohesivos producto de vibraciones	Son más susceptibles las arenas sueltas y gravas. El asentamiento puede ser causado por vibraciones de máquinas o terremotos.
Compresión del suelo de fundación debido a un aumento en la humedad.	Arenas-Limos Suelos y gravas son más susceptibles. El aumento en el contenido de humedad puede deberse a un ascenso del nivel freático o por infiltraciones.
Contracciones de suelos cohesivos debido al estado seco del material,	Mayor susceptibilidad en arcillas altamente plásticas. Se debe al incremento de la temperatura del suelo bajo la fundación de la estructura. Un humedecimiento de estos suelos conlleva a un hinchamiento del material.
Pérdida del material de fundación producto de la erosión.	La acción de agentes erosivos como viento y agua, determinan la profundidad de la fundación con el objeto de evitar el proceso erosivo de la misma
Pérdida de soporte en la fundación producto de excavaciones adyacentes.	Efecto más pronunciado en arcillas suaves y saturadas.
Pérdida de la capacidad de carga de la fundación debido a la remoción del suelo lateral (perdida de confinamiento)	Este proceso puede causar deslizamientos, reptación o movimientos de las estructuras de retención.
Pérdida de la capacidad de carga de la fundación debido a la formación de sumideros o pozos	Suelos que sobre yacen materiales con altas razones de vacíos son más susceptibles
Pérdida de la capacidad de carga de la fundación debido al descongelamiento del material de fundación	Suelos sometidos a procesos de congelamiento y calentamiento resultan más susceptibles.
Pérdida de la capacidad de carga de fundación debido a la licuación parcial o total del material de fundación.	Arenas sueltas y saturadas resultan más susceptibles.
Fricción negativa en pilotes sobre arcillas suaves	La fricción negativa aumenta la carga de punta sobre los pilotes, causando en ocasiones asentamientos del mismo.

Nota. Diferentes causas de asentamientos de cimentaciones y descripción del fenómeno Fuente: (Engineeres, 2005)

Considerando al fenómeno de asentamiento que está relacionado directamente con el proceso de deformación del suelo, se determina dos factores en este fenómeno que son descritas

en la obra de Robert Day (2000) como asentamientos causados por el peso por carga muerta y carga permanente, que serán tomadas en consideración en el presente proyecto.

Whitlow (1996) establece que la mayor parte de los daños en edificios, que ocurren debido a movimientos de los cimientos, se deben a la aparición repentina de condiciones no previstas en el suelo. Estudios o ensayos pueden obtener una estimación del grado de asentamiento de la cimentación.

3.2.1 Asentamiento por peso propio y cargas muertas permanentes

Las cargas muertas permanentes y el peso propio de la estructura pueden provocar compresión en los diferentes estratos del suelo por debajo de la cimentación, causando deformaciones elásticas o dando lugar a procesos de consolidación sobre estos. Constantemente, el análisis de asentamientos se lo asocia con las cargas muertas de la estructura, pero cabe señalar que se debe considerar en este análisis las cargas vivas que están interactuando en la estructura, que son potenciales orígenes de asentamiento.

Se han dado casos que las cargas vivas representan una fuente del aumento de la carga transmitida al suelo por medio de las estructuras de cimentación, estas cargas o sobrecargas como tiene definido la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15), pueden ser el peso de personas, mueble, equipos y accesorios móviles o temporales, entre otros.

La norma ecuatoriana de la construcción en el capítulo de Geotécnica y Cimentaciones sección 6.3.4 se considera las cargas muertas de servicio y 50% de cargas vivas para asentamientos tolerables para edificaciones en un lapso de 25 años.

La aplicación de las cargas y las reacciones que produce el suelo al estar sometido a diferentes acciones depende de la naturaleza, intensidad y duración de la aplicación de ellas, así como las características de suelo como cohesión, fricción interna y grado de compacidad.

Cuando es posible determinar la magnitud de los asentamientos debido a la aplicación de las cargas o formular procesos de prevención, es necesario identificar los procesos generadores y resolver adecuadamente el problema.

3.2.2 Movimientos por contenido de agua.

En algunos tipos de suelo se aprecia expansión o reducción de su volumen a medida que el contenido de agua aumenta o disminuye, en especial cuando se encuentran acuíferos subterráneos o por presencia del nivel freático. Este cambio de volumen ocasiona dos procesos de asentamiento.

Primero: La disminución del contenido de humedad en algunas arcillas produce una reducción de su volumen.

Segundo: La disminución de la presión hidrostática de los poros produce en las capas inferiores un aumento del esfuerzo efectivo de sobrecarga siendo este el motivo por el cual el suelo desciende y produce una consolidación.

La compactación del suelo es el proceso artificial donde las partículas del suelo se acomodan a estar más en contacto una con las otras mediante procesos artificiales empleando medios mecánicos para una reducción del índice de vacíos.

3.3 Consecuencias de asentamientos diferenciales.

Una de las consecuencias más significativas que presenta el fenómeno de asentamiento es la formación de fisuras o grietas en los elementos estructurales, como son: columnas, vigas, muros de corte, placas de cimentación y en elementos que en algunos casos no son considerados elementos estructurales como la mampostería.

Este fisurado que presentan las estructuras, son alteraciones en su configuración estructural produciendo cambios en su comportamiento al que no fue previamente diseñado y que conllevan a medidas correctivas o de amortización.

A continuación, se presenta la tabla 7 de daños potenciales producto del agrietamiento de los elementos estructurales tomado del libro de Rodrigo Day 2000.

Tabla 7

Daños potenciales producto del agrietamiento.

Categoría	Descripción	Ancho de Grietas	Δ	δ/L
Despreciable	Grietas imperceptibles	< 0.1 mm	< 3 cm	< 1/300
Muy leve	Grietas finas que puede ser tratadas durante procesos de decoración. Visibles bajo una inspección rígida	1 mm	3 – 4 cm	1/300 a 1/240
Leve	Grietas que pueden ser rellenadas, sin embargo, se requiere de un proceso de redecoración de los elementos para disminuir el tratamiento. Aparecen en el interior de la estructura y pueden ser visibles externamente. Mal funcionamiento de puertas y ventanas	3 mm	4 – 5 cm	1/240 a 1/175
Moderado	Grietas que requieren ser tratadas desde su origen (Epóxidos). Replanteo de muros de mampostería. Mal funcionamiento de puertas y ventanas, posibles fracturas en tuberías.	5 a 15 mm	5 a 8 cm	1/175 a 1/120
Severo	Grietas que implican la demolición parcial del elemento y su posterior reconstrucción. Apreciables en grandes secciones de muro. Distorsión de marcos en puertas y ventanas. Pandeo de entrepisos y posible pérdida en la capacidad de carga de los elementos estructurales. Colapso de tuberías.	15 a 25 mm	8 a 13 cm	1/120 a 1/170
Muy Severo	Involucra la reconstrucción parcial o total de la estructura. Vidrios reventados. Inestabilidad estructural de los elementos.	> 25 mm	> 13 cm	> 1/70

Nota. Daños potenciales producto del agrietamiento de los elementos estructurales Fuente: (R, 2000)

Tabla 8

Asentamientos admisibles

Tipo de movimiento	Factor Limitativo	Asentamiento máximo
Asentamiento Total	Drenaje	6 - 12 plg
	Acceso	12 - 24 plg
	Probabilidad de asentamiento no uniforme	
	Estructuras con muros de mampostería	1 - 2 plg
	Estructuras reticulares	2 - 4 plg
Inclinación o giro	Chimeneas, silo, placas	3 - 12 plg
	Estabilidad frente al vuelco	Depende de la altura y el ancho
	Inclinación de chimeneas, torres	0.004 ℓ
	Rodadura de camiones	0.01 ℓ
	Almacenamiento de mercancías	0.01 ℓ
	Funcionamiento de máquinas-telares de algodón	0.003 ℓ
	Funcionamiento de máquinas-turbogeneradores	0.0002 ℓ
	Carriles de grúas	0.003 ℓ
	Drenaje de soleras	0.01 ℓ - 0.02 ℓ
	Muros de ladrillo continuos y elevados	0.0005 ℓ - 0.001 ℓ
	Factoría de una planta, fisuración de muros de ladrillo	0.001 ℓ - 0.002 ℓ
	Fisuración de revocos (yeso)	0.001 ℓ
	Pórticos de concreto armado	0.0025 ℓ - 0.004 ℓ
	Pantallas de concreto armado	0.003 ℓ
	Pórticos metálicos continuos	0.002 ℓ
	Pórticos metálicos sencillos	0.005 ℓ

Nota. Asentamientos permisibles, dependiendo del tipo de movimiento Fuente: (Hurtado, 2010)

Nota. ℓ = distancia entre columnas adyacentes con asentamientos diferentes o entre dos puntos cualesquiera con asentamiento diferencial. Los valores más elevados son para asentamientos homogéneos y estructuras más tolerantes. Los valores inferiores corresponden a asentamientos irregulares y estructuras delicadas.

Se establece asentamientos diferenciales máximos calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, L.

Tabla 9

Valores máximos de asentamientos diferenciales calculados, expresados en función de la distancia entre apoyos o columnas, L.

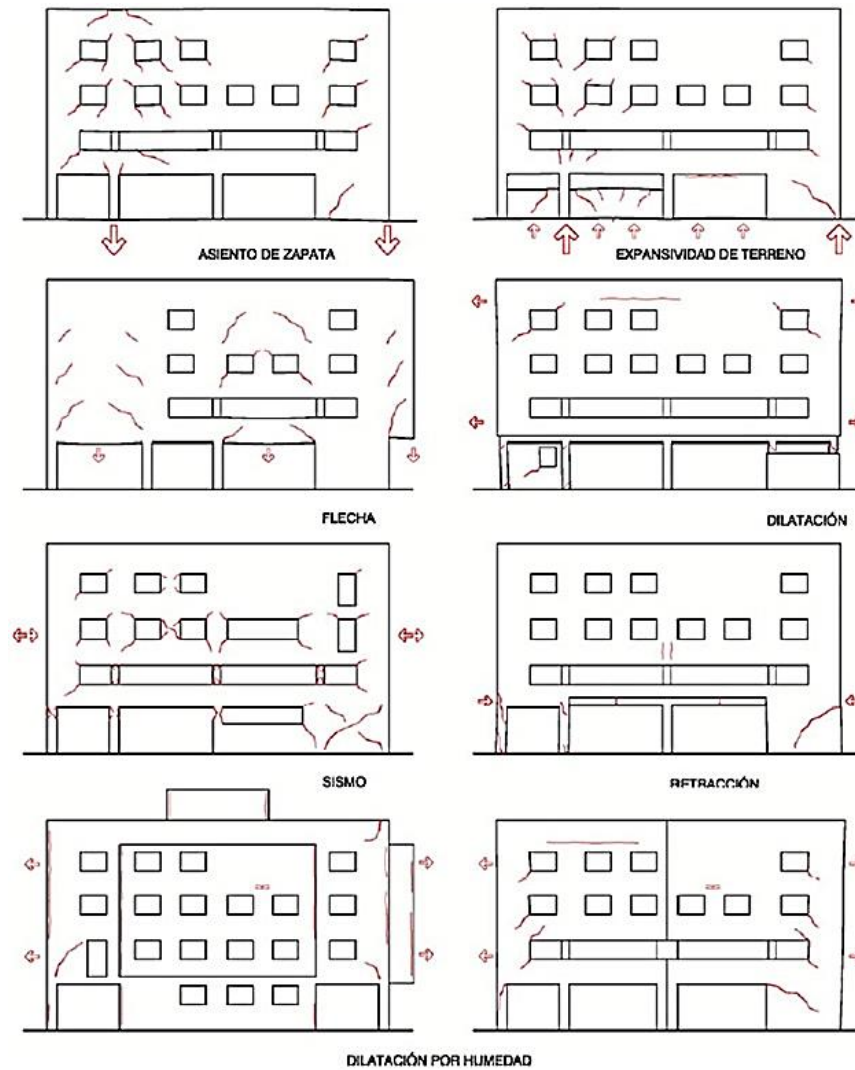
Tipo de construcción	Δ_{\max}
Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores.	L/1000
Edificaciones con muro de carga en concreto o en mampostería.	L/500
Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabado susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L/300
Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores	L/160

Nota. Asentamientos máximos diferenciales en dependiendo del tipo de construcción y en función de la distancia entre apoyos o columnas, L. Fuente: (NEC Norma Ecuatoria de la Construcción, 2015).

En la Figura 17 se aprecia un esquema de la problemática que producen los asentamientos diferenciales en una estructura y la diferencia con otros problemas en las edificaciones.

Figura 17

Tipos de grietas en edificaciones



Nota. Tipos de grietas o fisuras presentadas en las edificaciones, en función del tipo de movimiento. Fuente: (De Miguel, 2016)

3.4 Modelación Numérica

3.4.1 Metodología MIDAS GTS NX

MIDAS GTS NX es un software que fue desarrollado para análisis específicos de sistemas de tierra y túneles.

Los principales análisis del software son los siguientes:

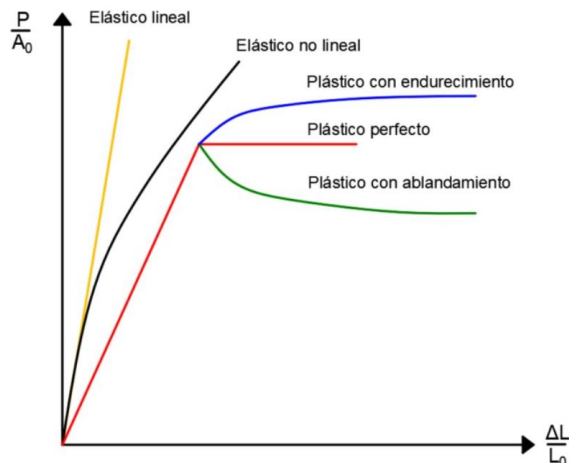
- Análisis lineal estático: Calcula los esfuerzos y deformaciones en el rango lineal con cargas estáticas.
- Análisis no lineal estático: Calcula los esfuerzos y deformaciones en el rango no lineal con cargas estáticas y con pasos de carga.
- Consolidación: Analiza los esfuerzos y asentamientos por consolidación en un suelo saturado con sobrecarga y condiciones de drenaje.
- No lineal tiempo historia: Realiza análisis dinámicos.
- Filtración: Permite la generación de redes de flujo e infiltración en suelo
- Etapas constructivas: Se pueden realizar los análisis antes mencionados por etapas constructivas.

3.4.2 Modelos constitutivos

Existe una gran variedad de modelos constitutivos que permiten la representación de distintas soluciones de un material que ha sido sometido a cargas. Los más generales son los modelos elástico lineal, elástico no lineal, plástico con endurecimiento, plástico perfecto, plástico con ablandamiento.

Figura 18

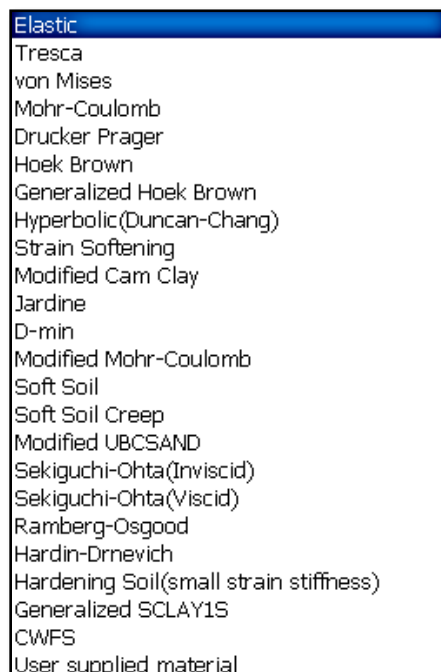
Modelos constitutivos más generales



Nota. Representación gráfica de los diferentes modelos constitutivos generales. Fuente: (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019)

Figura 19

Modelos constitutivos software MIDAS



Nota. Modelos constitutivos pertenecientes al software MIDAS GTS NX. Fuente: (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019)

3.4.2.1 Modelo Elástico

El primer modelo que se encuentra disponible es el modelo elástico, es aplicado en materiales isotrópicos con base a un comportamiento lineal elástico, esto quiere decir que el material tiene conducta elástico reversible para cualquier esfuerzo aplicado. Los esfuerzos en este modelo son directamente proporcionales a la deformación, las constantes utilizadas son el módulo de elasticidad (E) y la relación de Poisson (ν).

Este modelo es útil para modelar el comportamiento del concreto en los elementos estructurales de la edificación que tengan una resistencia mayor a la del suelo, además es utilizable en los siguientes problemas:

- Cuando el suelo está lejos de la falla
- Suelo con propagación de ondas
- Suelo con vibración de maquinaria
- Tensiones alrededor de túneles en materiales competentes
- Minería subterránea a gran escala

3.4.2.2 Modelo Mohr Coulomb

El modelo constitutivo de Mohr Coulomb utilizado en el software MIDAS GTS NX, es representado con un comportamiento elasto-plástico o elástico perfecto, asimila una buena aproximación para la mayoría de los análisis. También define dos parámetros de la ley de Hook, el módulo de elasticidad (E) y la relación de Poisson (ν) en el rango elástico a través del comportamiento esfuerzo deformación.

Para el presente estudio se optó por el modelo constitutivo lineal elástico por sus características como el comportamiento isotrópico de los materiales y por considerar que las deformaciones desaparecen al retirar las cargas actuantes.

3.4.3 Método de los elementos finitos

Para el estudio de los elementos que conforman el modelo computacional se analiza con el método de los elementos finitos. Este método se basa en fraccionar el cuerpo o medio continuo sobre el que están determinadas ecuaciones diferenciales y describen la conducta física de los cuerpos, en una serie de subdivisiones sin intersecciones entre sí, llamados elementos finitos.

La vinculación de los elementos finitos forma un fraccionamiento del dominio que se conoce como discretización. En cada elemento se diferencia una serie de puntos representativos llamados nodos. El conjunto de nodos que interactuando vinculados uno con otro se conoce como malla. Para la resolución de las ecuaciones diferenciales que actúan sobre los cuerpos, se aplica el Principio de trabajo virtual en notación matricial que se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 7

Principio de trabajo virtual

$$\int_V \delta \varepsilon^T \sigma dV = \int_V (\delta u)^T b dV + \int_S (\delta u)^T \phi dS + \delta d^T p$$

Fuente: (Sánchez Cepillo, 2011)

Donde el último de los términos contiene las cargas aplicadas en los nodos.

Interpolando los desplazamientos y deformaciones de cada elemento se obtiene la siguiente expresión:

$$\delta d^T \left(\int_V B^T \sigma dV - \int_V N^T b dV - \int_S (N)^T \phi dS - p \right) = 0$$

Fuente: (Sánchez Cepillo, 2011)

La variable entre paréntesis debe ser cero, y tomando en cuenta la ley de Hooke y la matriz de deformaciones se obtiene: $\sigma = C\varepsilon = CBd^e$

$$\left(\int_V B^T CB d^e = \int_V N^T b dV + \int_S (N)^T \phi dS + p \right) \Rightarrow K^e d^e = r^e$$

Fuente: (Sánchez Cepillo, 2011)

Donde:

$$K^e: \int_V B^T C B dV =$$
$$r^e: \int_V N^T b dV + \int_S (N)^T \phi dS + p$$

La matriz rigidez elemental K^e y el vector equivalente modal de cargas r^e , pueden ser ensamblados en la matriz rigidez global y el vector equivalente de cargas globales.

Ecuación 8

Matriz de rigidez elemental

$$K = \sum_{e=1}^{Ne} K^e$$

Fuente: (Sánchez Cepillo, 2011)

Ecuación 9

Vector equivalente modal

$$r = \sum_{e=1}^{Ne} r^e$$

Fuente: (Sánchez Cepillo, 2011)

Dando lugar a un sistema de ecuaciones lineales que puede ser resuelto.

Ecuación 10

Matriz de rigidez simétrica

$$Kd=r$$

Fuente: (Sánchez Cepillo, 2011)

Donde:

d: Vector que contiene los grados de libertad de todos los nodos

r: Vector de longitud que contiene todas las cargas consistentes nodales

K: Matriz de rigidez simétrica

Esta es la metodología que usa MIDAS GTS NX, dando lugar a la resolución de los diferentes escenarios propuestos que son los siguientes:

- Fin de construcción
- Suelo y estructura
- Suelo y estructura con variación del nivel freático

3.4.4 Propiedades de los materiales

Para realizar un modelo, se asignan las propiedades de los materiales luego se escoge el modelo constitutivo más apropiado. Las dimensiones de cada elemento deben ser correctas y precisas, ya que tienen una orientación en una o varias dimensiones, por ejemplo, los geo-materiales se puede utilizar en 2D, 3D o 2D equivalente y para los elementos estructurales se asignan las dimensiones y el espaciamiento horizontal.

3.4.4.1 *Beam Element*

Los elementos viga están definidos por nodos y usualmente su longitud es mayor a su sección transversal. Difieren de los elementos Truss en que si experimentan deformación producto de la flexión. Cuando la relación largo/ancho es superior a 5, la influencia de la deformación al corte comienza a tomar importancia y se recomienda el uso de elementos Shell o sólidos.

3.4.4.2 *Shell Element*

Los parámetros de Shell Element fue utilizado en los elementos losa y muros, están conformados por elementos triangulares o rectangulares que son utilizados en superficies curvas. Se usan en estructuras que sufren un estado de esfuerzo plano en dos dimensiones, donde el momento flector y la carga axial son considerables.

En estos elementos se considerarán las siguientes cargas:

- Peso propio.

- Presión debida al agua.
- Cargas por cambios de temperatura.
- Pre-esfuerzos y fuerzas de equilibrio.

3.4.5 Solid Elements

Los solid elements o elementos sólidos, frecuentemente son utilizados para el modelo de estructuras con volumen, como por ejemplo el suelo con espesores relativamente grandes. En estos elementos volumétricos, se considera la no linealidad geométrica y la no linealidad de los parámetros elásticos y no elásticos.

CAPÍTULO IV

EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA E INFORMACIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

La exploración subterránea constituye los sondeos y perforaciones realizadas por los laboratorios de suelos involucrados en el proyecto donde se ubica el Bloque G, correspondientes al año 2009, antes y durante su ejecución.

La información de los ensayos de laboratorio fue proporcionada por la Universidad Politécnica Salesiana y ensayos realizados por el Ingeniero Fernando Gonzales Moya en el año 2009. Adicional a estos ensayos se realizaron nuevos estudios en el año 2020. Estos ensayos fueron realizados bajo las normas ASTM Y AASHTO, la información fue analizada y clasificada. Los datos recopilados corresponden a los ensayos de laboratorio:

- Contenido de humedad natural.
- Granulometría por lavado y tamizado hasta la malla N° 200.
- Ensayo de límites de consistencia.
- Descripción manual-visual (S.U.C.S).
- Ensayo de compresión triaxial rápido UU.

4.1 Perforaciones

Las primeras perforaciones fueron ejecutadas en el año 2009 por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana. Se realizaron 5 perforaciones que corresponden a dos sitios de implantación de las estructuras que se ejecutarían en ese año, P1 y P2 pertenecen a la estructura del auditorio y P3, P4, P5 están referidas a la estructura del Bloque G, por lo que el análisis se centra en los resultados de estos 3 sondeos realizados bajo esta edificación, estas perforaciones llegaron a la profundidad de 10 m cada uno.

La ubicación de cada sondeo se muestra en la Figura 21, se realizó una toma de muestra alineada entre los puntos 3, 4 y 5, no muy recomendada ya que suele realizarse en zigzag de forma que se tome la mayor zona, pero si factible para obtención de muestras y desarrollo de ensayos en campo como SPT. Las coordenadas de la ubicación de estos sondeos fueron tomadas desde un punto arbitrario que se encuentra en la esquina norte del bloque B.

Figura 20

Implantación puntos de perforaciones



Nota. Ubicación de las perforaciones realizadas por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana del año 2009. Elaborado por el autor a través de la aplicación Mapas Windows 10

Por parte de fiscalización de obra se solicitó un nuevo estudio de suelos, este estudio se realizó en la etapa de excavación del primer subsuelo, el profesional responsable de este nuevo estudio fue el ingeniero Fernando Gonzales Moya, lo cual permitió obtener más detalles del suelo, y comparar los resultados de los ensayos del laboratorio de la UPS.

Figura 21

Nuevo ensayo de SPT



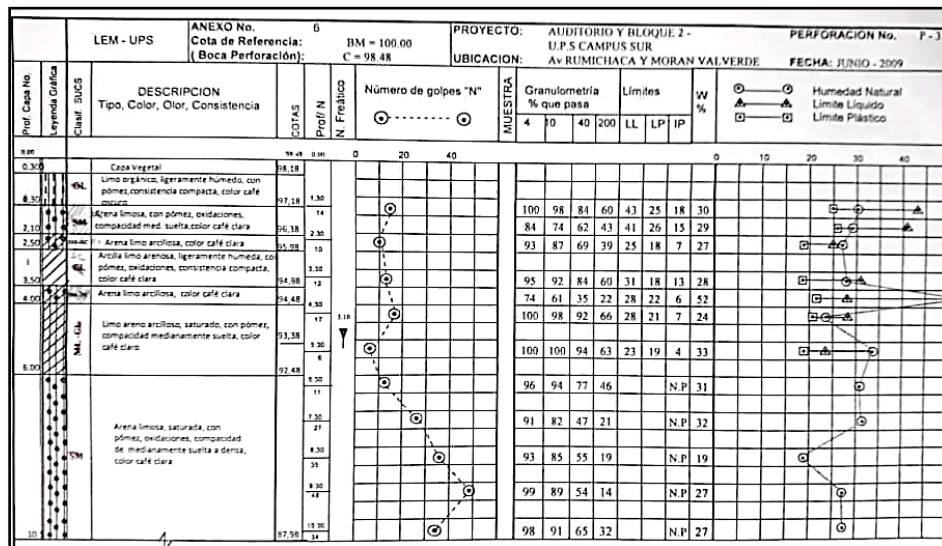
Nota. Ensayo de SPT, realizado por el Ing. Fernando Gonzales Moya en el año 2010 solicitado por fiscalización. Fuente (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

4.1.1 Descripción de las perforaciones

Se presentaron los datos de cada sondeo a cada profundidad, clasificación SUCS, descripción de color, olor y consistencia con su respectiva cota desde el punto B, y la profundidad del nivel freático donde existía.

Figura 22

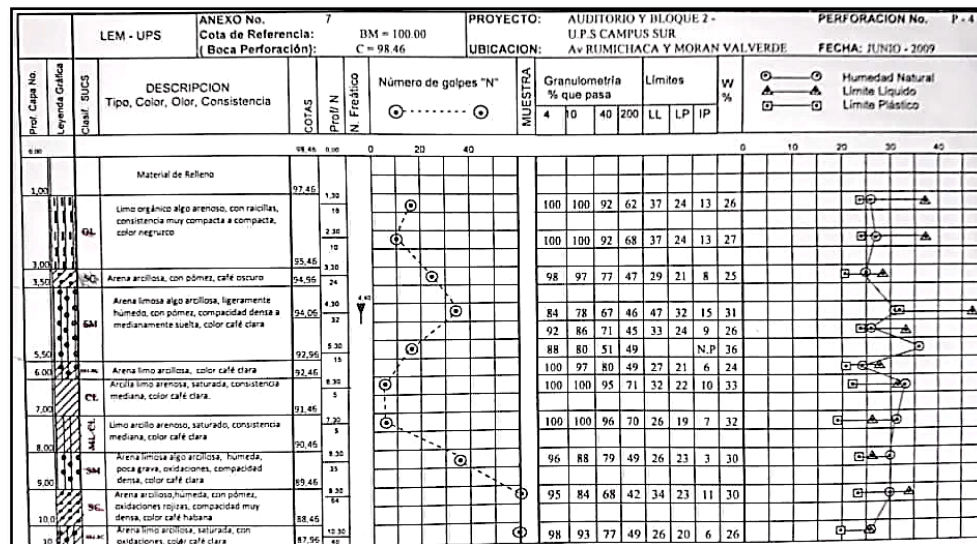
LOG sondeo 3



Nota. LOG del tercer punto de perforación realizado en el año 2009. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009).

Figura 23

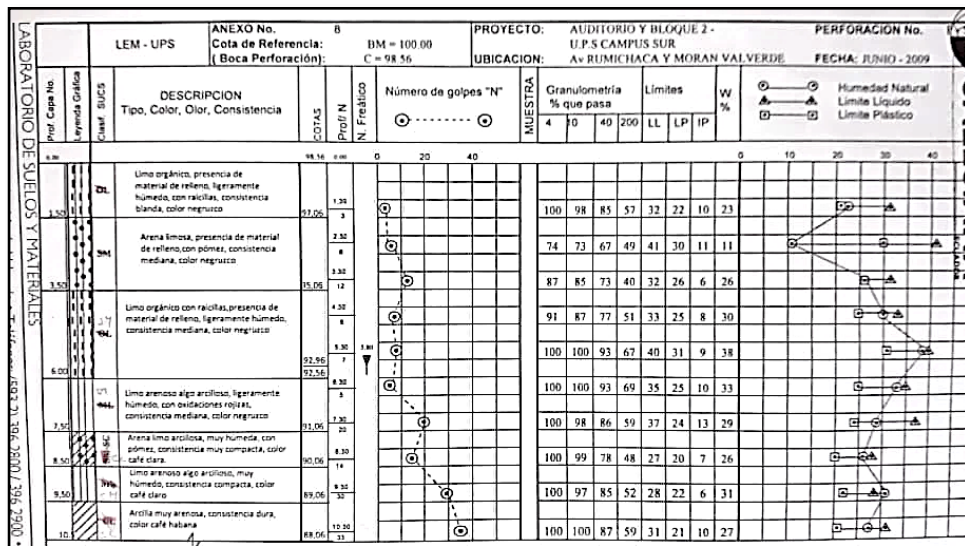
LOG sondeo 4



Nota. LOG del cuarto punto de perforación realizado en el año 2009. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009).

Figura 24

LOG sondeo 5



Nota. LOG del quinto punto de perforación realizado en el año 2009. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009).

Se recolecto una muestra indisturbada del suelo entre el nivel normal del terreno y el nivel N-4.00 m, con la finalidad de determinar los parámetros de corte para el diseño de los muros perimetrales.

Sondeo 3, 4 y 5

- En el sondeo P3 se encontraba una capa vegetal de 0.3 m.
- Los estratos superficiales corresponden a arcillas con una plasticidad media.
- A continuación, aparecen estratos alternados de arenas limosas, arcillas limosas de coloración café clara.
- Los valores de N varían en los tres sondeos siendo su menor valor en el sondeo 5 con 3 golpes y su mayor valor en el sondeo 4 con 64 golpes en el ensayo SPT.

- El nivel freático se detecta a 5.10, 4.40 y 5.80 metros de profundidad respectivamente en cada uno de los sondeos, a partir de la superficie.

4.2 Ensayos de mecánica de suelos

Se recopiló la información de ensayos de laboratorio, cortes geotécnicos, propiedades mecánicas de los suelos encontrados, clasificación S.U.C.S, diagramas de variación de N con relación a la profundidad, diagramas de variación de los límites de consistencia con relación a los valores de humedad, perforaciones y análisis de asentamiento en función del SPT.

4.2.1 Clasificación SUCS

Los ensayos de límites de consistencia se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana y su contenido de humedad. Se realizaron los límites de consistencia de las muestras obtenidas en cada perforación como se observan en los LOGS previamente descritos y los diferentes niveles del nivel freático en cada una de las perforaciones.

Tabla 10

Nivel freático

Sondeo	Profundidad (m)
P3	5.10
P4	4.40
P5	5.80

Nota. Profundidad de la ubicación del nivel freático de los sondeos P3, P4 y P5. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009).

4.3 Descripción del perfil litológico.

Por medio de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se realizó la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

4.3.1 Estratigrafía de 0 – 2 m de profundidad.

En esta primera capa se encontró arcilla con una plasticidad media (CL), este estrato es bastante claro en los 3 sondeos y con una profundidad semejante.

4.3.2 Estratigrafía de 2 – 4 m de profundidad.

Conforme se profundizó se encontró arenas arcillosas (SC) y arenas limosas (SM) con compacidad densa a medianamente suelta con presencia de piedra pómez.

4.3.3 Estratigrafía de 4 – 6 m de profundidad.

En este nivel se encontró presencia de arena arcillosa-limosa (SM-SC) con presencia de piedra pómez una compacidad medianamente suelta, y también una capa de limo de baja plasticidad (ML).

4.3.4 Estratigrafía de 6 – 8 m de profundidad.

En esta profundidad se encontró Arcilla limosa (CL-ML) con compacidad densa con presencia de grava.

4.3.5 Estratigrafía de 8 – 10 m de profundidad.

Predomina Arena arcillosa-limosa (SM-SC) con presencia de piedra pómez una compacidad muy densa, con poca presencia de arcilla limosa arenosa (CL-ML) en los últimos centímetros del sondeo.

Posteriormente se realizó un segundo estudio de suelos, ejecutándose 3 perforaciones, la primera entre los ejes 7-8 y H-I, la segunda entre 6-7 y H-G, la tercera perforación entre los ejes 2-3 y F-G dando como resultados la siguiente descripción:

4.3.6 Estratigrafía de 0 – 2 m de profundidad nuevo estudio

Limo orgánico color café oscuro a negruzco, medianamente a muy húmedo, ligeramente plástico, muy blando a ligeramente compacto, con raíces. En la primera perforación, P-1, existía

una capa superficial de 1.0 m de espesor, constituida por relleno artificial de mala calidad, con presencia de escombros y materia orgánica no descompuesta, En P-2 y P-4 el relleno tuvo 0.5 m de espesor. Las condiciones críticas estuvieron en el sector de P-1, afectado por las filtraciones. El número de golpes en el ensayo de Penetración Estándar, N_{SPT} , varió entre 1 y 12, la humedad entre 21 y 75% y el contenido de finos entre 70 y 75%. La clasificación SUCS fue variada: ML, OL, MH/OH o ML/CL. Llegó hasta 2.0 m de profundidad P-1, 1.0 m en P-2 y 1.5 m en P-4. No se detectó en P-3 por la excavación realizada y las diferencias en espesores, junto con la natural formación de los estratos y la colocación del relleno artificial.

Con esta clasificación se realizó un primer diseño de cimentación, pero los datos obtenidos no reflejaban la veracidad del terreno, como se dijo anteriormente fiscalización procedió a solicitar un nuevo estudio. Los resultados de ese estudio son los siguientes.

4.3.7 Estratigrafía de 2 – 5 m de profundidad nuevo estudio

Limo arcillo - arenoso color café oscuro a café, medianamente a muy húmedo, blando a medianamente compacto, ligeramente a medianamente plástico, con pómez, óxidos y vetas cafés. N_{SPT} osciló entre 2 y 18 golpes, la humedad entre 24 y 36% y el contenido de finos entre 55 y 75%. La clasificación es ML/CL y ocasionalmente ML. Avanzó hasta profundidades variables entre 5.0 m en P-1 y 3.0 m en P-2 y P-4.

4.3.8 Estratigrafía de 5 – 7 m de profundidad nuevo estudio

Limo arcillo - arenoso a veces orgánico por contaminación (sector de P-1), color café claro a grisáceo, verde azulado a gris verdoso, medianamente a muy húmedo o aún saturado, blando a compacto, ligeramente a medianamente plástico, con pómez, óxidos, grumos endurecidos y lentes de arena de pómez. Cangahua lacustre con capas reblandecidas: en P-3 se detecta al inicio y en P-4 en un nivel intermedio. N_{SPT} varía entre 4 y 31 golpes, el contenido de finos entre 55 y 75% y la

humedad entre 22 y 32%. La clasificación es OL, ML o ML/CL. Se detectó hasta 7.0 m de profundidad en P-1, 6.0 m en P-2 y 2.0 m en P-3. Su final no fue encontrado en P-4.

4.3.9 Estratigrafía de 7 – 10.3 m de profundidad nuevo estudio

Arena limosa de pómez, color gris amarillento a café claro grisáceo o verdoso, fina a gruesa, medianamente a muy húmeda, suelta a densa, no plástica, mal gradada, con grava sub angulosa de pómez. En el sector de P-1 un lente limoso. En P-2 se presentó como lentes intercalados en el estrato anterior. NSPT oscila entre 5 y 52 golpes, el contenido de finos entre 10 y 45% y la humedad entre 21 y 66%. La clasificación es SM o SM-SP. Salvo en P-2, su final no fue encontrado hasta la profundidad que alcanzaron los sondeos P-1 y P-3.

4.3.10 Estratigrafía de 10.3 m en adelante nuevo estudio

Solo se encontró en P-2. Limo areno - arcilloso color gris verdoso a amarillento, que es la continuación del estrato de cangahua; medianamente húmedo, compacto, ligeramente plástico, poco cohesivo, con pómez, y abundantes óxidos. NSPT varía entre 12 y 30 golpes, el contenido de finos entre 65 y 70% y la humedad entre 22 y 27%. La clasificación es ML o ML/CL. Su final no fue encontrado hasta la profundidad que alcanzó el sondeo P-2.

4.3.11 Diferencias en los ensayos dos ensayos realizados

Tabla 11

Diferencias en los ensayos

Estratos	LAB UPS	Ing. Fernando Gonzales
Primero N -2.0 m	Arcilla con plasticidad media	Limo orgánico
Segundo N -5.0 m	Arenas arcillosa y arenosas	Limo arcillo arenoso
Tercero N -7.0 m	Arena arcilla limosa	Limo arcillo arenoso
Cuarto N -10.3 m	Arcilla limosa	Arena limosa
Quinto N -12.0 m	Arena arcillosa limosa	Limo areno- arcilloso

Nota. Tipos de suelos encontrados de los dos estudios realizados en el área de implantación del bloque G. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009) y (Gonzáles Moya).

Las diferencias presentadas en los dos ensayos se deben a los diferentes puntos de perforación para la toma de muestras.

4.4 Granulometría

El análisis granulométrico es un ensayo básico y sencillo pero que aporta con gran información para una aproximación de las características geotécnicas del suelo como la capacidad pórtate, deformabilidad o permeabilidad.

Con este ensayo se obtiene el porcentaje de finos que pasa por el tamiz N° 200 según norma ASTM D1140 y mide la proporción de arcillas y limos.

Tabla 12

Contenido de porcentaje de finos

Profundidad m	Porcentaje de Finos %
0-2	70-75
2-5	55-75
5-7	55-75
7-10.3	10-45
10.3	65-70

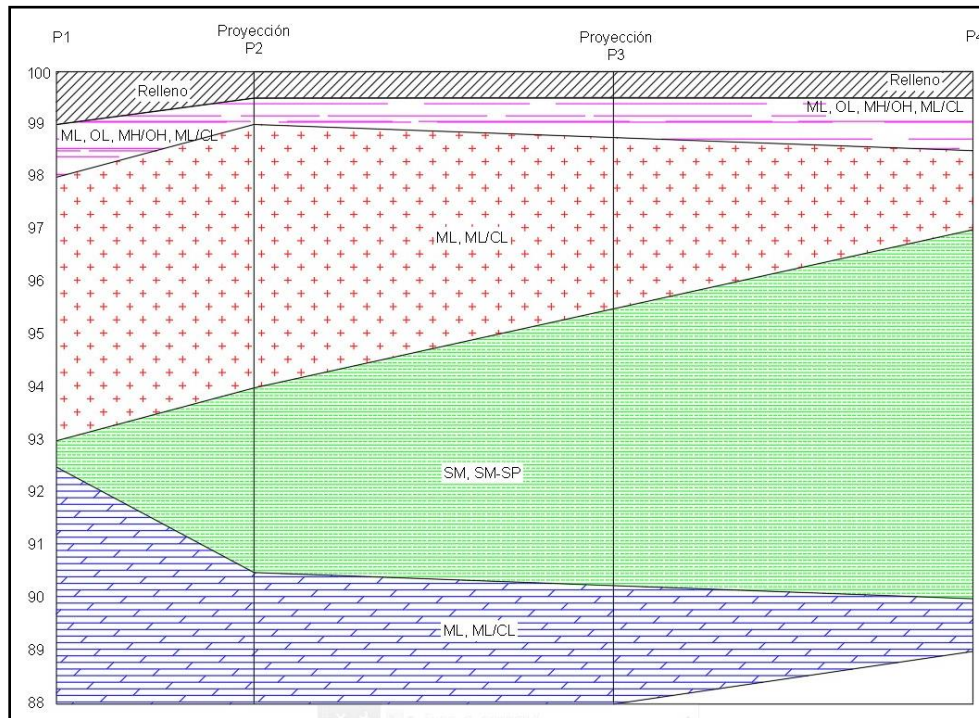
Nota. Porcentaje de material fino encontrado en diferentes profundidades de las perforaciones P4, P4 y P5. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009).

El tipo de suelo donde se implantó la edificación se clasifica en suelos finos con un porcentaje mayor del 50%. Logrando encontrar suelos inorgánicos, arenas finas en los primeros dos metros de las excavaciones.

Con los datos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Politécnica Salesiana y los ensayos realizados por el Ing. Fernando Gonzales Moya se procedió a caracterizar el suelo donde se encuentra implantado el bloque G y a realizar un perfil estratigráfico del subsuelo.

Figura 25

Perfil estratigráfico suelo Bloque G



Nota. Representación gráfica de los tipos de suelo encontrado en el área de implantación del bloque G con sus respectivas profundidades. Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009) y (González Moya).

En la Figura 25 se muestra una representación del perfil estratigráfico, tomando información de los ensayos de laboratorio que se realizaron. En el modelo tridimensional se tomó en cuenta las variaciones de los espesores de cada estrato y su representación en el espacio.

Tabla 13*Suelo caracterizado bajo Bloque G*

Clasificación SUCS	Sondeo 1 (m)	Sondeo 2 (m)	Sondeo 3 (m)
CL	1.3	1.0	1.5
SM	4.0	6.0	6.0
CL-ML	5.1	7.0	7.5
SM	10.5	10.5	-
CL-ML	-	-	10.5

Nota. caracterización de los tipos de suelos encontrados en el área de implantación del bloque G.

Fuente: (Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana, 2009) y (González Moya).

4.5 Propiedades mecánicas

Los resultados entregados por los dos estudios de suelos respecto a las propiedades mecánicas, como carga admisible (q_a), ángulo de rozamiento (Φ), cohesión (C) del suelo fueron similares, pero se consideró los resultados del último estudio para el diseño de cimentación y la profundidad de desplante.

4.6 Capacidad de carga admisible

Para el cálculo de la capacidad de carga admisibles en el presente proyecto se utilizó la ecuación en función del número de golpes del ensayo SPT.

Ecuación 11

Capacidad de carga admisible

$$q_a = 0.5 * \{ -4.88\sigma_0 + [(4.88 * \sigma_0^2) + 757.94 * K * N * S * \sigma_0/B]^{0.5} \}$$

Fuente: (Valverde B & Vasconez S, 1997)

Donde:

q_a : Capacidad de carga admisible [t/m²], 11,0 ton/m²

σ_0 : Esfuerzo efectivo del suelo [t/m²], 20.0 t/m²

K: Factor por el tipo de suelo (1.8 limos y arcillas)

N: Número de golpes SPT, 12 golpes

S: Asentamiento permitido [m], 0.025 m

B: Ancho de zapata [m], 4,0 m

El valor de la carga admisible obtenido con la ecuación 1 fue de 10.95 ton/m², un valor bastante aproximado a las 11 ton/m² obtenido por los ensayos del Ing. Fernando González.

4.7 Módulo de elasticidad E

Para la obtención del módulo de elasticidad del suelo de cimentación, se empleó la ecuación 2 correspondiente al artículo académico “Correlación del módulo de elasticidad obtenido con el ensayo triaxial UU y los datos del ensayo de corte directo UU en la cangahua del norte de la ciudad de Quito.” (Logacho Tapia & Obando Castro, 2020) que abarca parámetros de las propiedades mecánicas del suelo obtenidas de los ensayos de corte directo.

La expresión obtenida de este artículo es:

Ecuación 12

Correlación módulo de elasticidad ajustado

$$E = 1518.36 + 417,29C - 89,03\varphi + 27,84w - 195,66LL + 260,36LP + 12,42Finos + 43,19\tau_{CD}$$

Fuente: (Logacho Tapia & Obando Castro, 2020)

Donde:

E: Módulo de elasticidad del suelo o Módulo de Young del suelo (kg/cm²)

C: Cohesión obtenida de ensayo de corte directo UU (kg/cm²), 2.8 kg/cm²

φ : Ángulo de fricción interna del suelo del ensayo de corte directo UU (Grados), 19.0°

w: Contenido de humedad del suelo del ensayo de corte directo UU (%), 26.4%

LL: Límite líquido (%), 36%

LP: Límite plástico (%), 23%

Finos: Porcentaje de finos presente en la clasificación SUCS del suelo (%), 64%

τ_{CD} : Esfuerzo cortante de falla obtenido del ensayo de corte directo UU (kg/cm^2), 8.07 kg/cm^2

Obteniendo así un módulo de elasticidad de 303.56 kg/cm^2

La línea 1 del Metro de Quito realizó dos perforaciones cercanas a las inmediaciones de la Universidad Politécnica Salesiana para la construcción de la estación Moran Valverde. Estos sondeos fueron SMQ-6 y SMQ-7 donde se extrajo la información de módulos de elasticidad de los estratos 1, 2 y 3 del presente proyecto, estas perforaciones llegaron hasta la profundidad de 40 m.

Para los estratos con los que no se contaba información de la Línea 1 del Metro de Quito se obtuvo el ángulo de fricción (Φ) de cuadros con relación al número N del ensayo de SPT.

Tabla 14

Correlaciones Φ y C con N_{spt}

Material	N_{spt}	Ángulo de fricción interna Φ
SM	4-10	27-32
ML	16-32	19

Nota. Cohesión y Ángulo de fricción de los suelos SM y ML obtenidos con correlaciones del número de golpes del ensayo de SPT. Fuente: (Peck, Hanson, & Thornburn, 1974) (Bowles J.) y (Metro de Madrid, 2012)

4.8 Coeficiente de Balasto

Generalmente para la obtención del coeficiente de Balasto es el ensayo de placa. En los archivos entregados y analizados no hubo un ensayo de este tipo relacionado con la obra del Bloque G, pero por correlaciones con otros parámetros del terreno se obtuvo el valor de este dato utilizando la ecuación de Vesic.

Ecuación 13

Módulo de Balasto formula de Vesic

$$k = \frac{E}{B * (1 - \nu^2)}$$

Fuente: (Bowles J. E., 1982)

Siendo

k: Coeficiente de Balasto

E: Modulo de elasticidad del suelo, 303.56 kg/cm²

ν : Relación de Poisson, 0.4

B: ancho de la cimentación, 4.0 m

El valor del coeficiente de balasto es 901.73 ton/m³, con este valor se trabajó para la representación del suelo de cimentación o del quinto estrato. El coeficiente de Balasto de los cuatro estratos superiores no se obtuvo, ya que estos no tienen contacto con las cargas verticales aplicadas en la cimentación de la edificación.

4.9 Resumen de Resultados

Los resultados de las propiedades mecánicas fueron:

Carga admisible $q_a = 11 \text{ ton/m}^2$, este valor corresponde al informe del Ing. Fernando González, tomada a la profundidad aproximada de 10 m.

Tabla 15

Resumen propiedades mecánicas

Estrato	Phi °	C Ton/m2	E Ton/m2	k ton/m3	Calculo
Estrato 1	20	2	802.91	-	Correlacione SPT
Estrato 2	22	2	1605.73	-	Correlacione SPT
Estrato 3	32	5.9	3913.99	-	Correlacione SPT
Estrato 4	31	3.9	4014.48	-	Triaxial
Estrato 5	19	2.8	2987.65	901.73	Correlación

Nota. Resumen de las propiedades mecánicas de los estratos y su forma de obtención. Fuente: (Metro de Madrid, 2012) y (Logacho Tapia & Obando Castro, 2020).

Las relaciones de ángulo de fricción (Φ) y cohesión (C) de los estratos del 1 al 4 no son necesarias para el análisis del comportamiento de la cimentación, pero estos datos son necesarios al momento de ingresar las propiedades mecánicas en el software MIDAS.

CAPÍTULO V

ESCENARIOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA

5.1 Procesamiento de datos

Se procedió a interpretar la información en las fases de campo y laboratorio. El procesamiento comenzó con la elaboración de una base de datos en el software Excel 365, programa que permite convertir la información en una nube de puntos con los cual estos fueron procesados con el software Midas GTS NX para la elaboración de elementos finitos.

La base de datos contiene la información del número de perforaciones, profundidad de cada sondeo, tipo de suelo, perfiles geotécnicos y resultados de los ensayos del laboratorio de suelos. Esta información fue complementada con fotografías aéreas y localización con ayuda de Google Maps.

5.2 Modelo Fin de Construcción

5.2.1 Método Subestructura

En este escenario solo se modelan vigas, columnas, cimentación y la definición del coeficiente de Balasto para la representación del suelo.

Los softwares que realizan análisis estructural no toman en cuenta la deformación del suelo, las cimentaciones se consideran como empotrado sin deformación.

Otra forma de modelar es con el coeficiente de Balasto, que considera el módulo de elasticidad y lo representa en elementos springs o resortes.

Con el coeficiente de Balasto representando el suelo, se modeló el primer escenario idealizando el suelo de cimentación.

En el modelo se aplicó cargas muertas permanentes de los elementos y peso propio de cada uno de ellos. El análisis con cargas vivas se realizó con la recomendación de la NEC-15 del 50% en todos los niveles de la edificación.

5.2.2 Método Directo con nivel freático N-10.3 m

El método directo representa un modelo más real del comportamiento de la estructura con el suelo. En este modelo se involucran los elementos del primer método, pero añadiendo los estratos del suelo que rodean y están bajo la edificación. Complementando las fuerzas y acciones que estos elementos ejercen hacia la edificación.

Adicional a la presión que ejercen las capas del suelo, se involucra la presión del agua ejercida por el nivel freático. El nivel freático en este sector es alto, por tal motivo se instaló un sistema de drenaje con bombas, que constantemente funciona para que el nivel de agua no supere el nivel N-10.6 m donde se encuentra la cimentación.

5.2.3 Método directo con variación de nivel freático

La modelación de este método es similar al anterior, analiza el comportamiento del suelo con la estructura, pero simulando que el sistema de drenaje falle y el nivel del agua supere N-10.6 m.

El nivel freático puede producir cambios significativos en cualquier obra incluso con inundaciones en los niveles inferiores al nivel normal del terreno.

Los cambios que produce la presión de agua en los estratos del suelo suelen ser significativas como el desplazamiento o hinchamiento de algunos tipos de suelo como se detalla en capítulo 3 en la sección 3.3.2 Movimientos por contenido de agua.

La presencia del nivel freático en el modelo constituye el análisis de la presión intersticial y el cambio del peso volumétrico del suelo o variación del módulo de elasticidad.

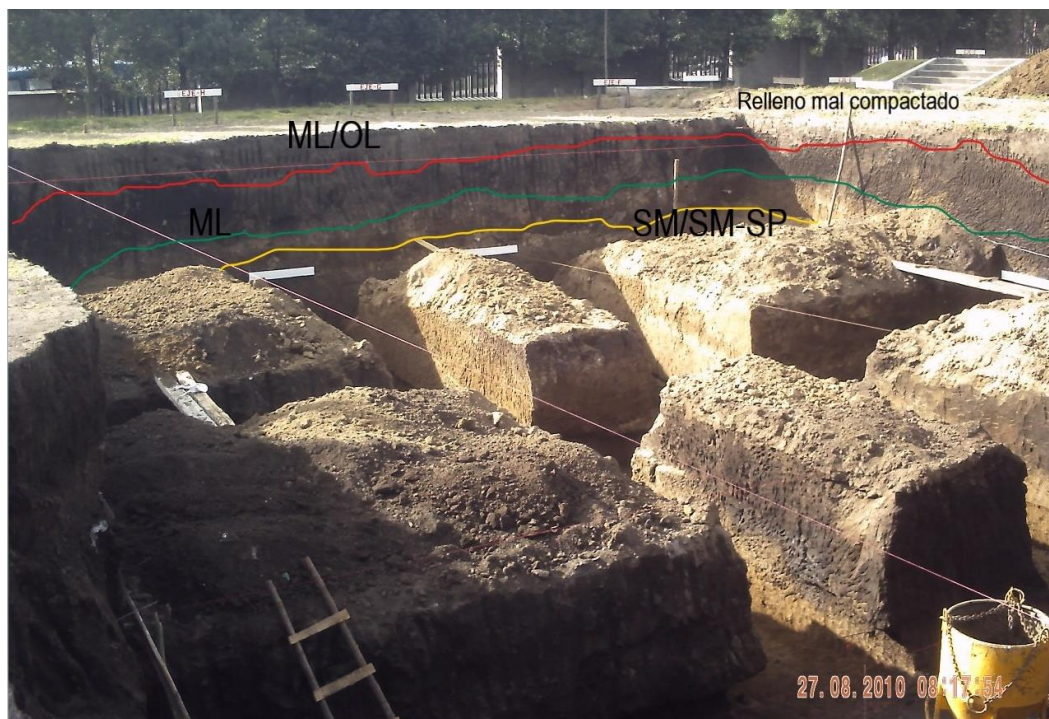
CAPÍTULO VI

CONFIGURACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS

Los estratos del suelo en los modelos pueden ser comprobados con archivos fotográficos que fue proporcionada por fiscalización de la obra. Se observa en la siguiente Figura la profundidad de cada estrato, y las divisiones de cada tipo de suelo.

Figura 26

Herencia fotográfica excavación de vigas de cimentación



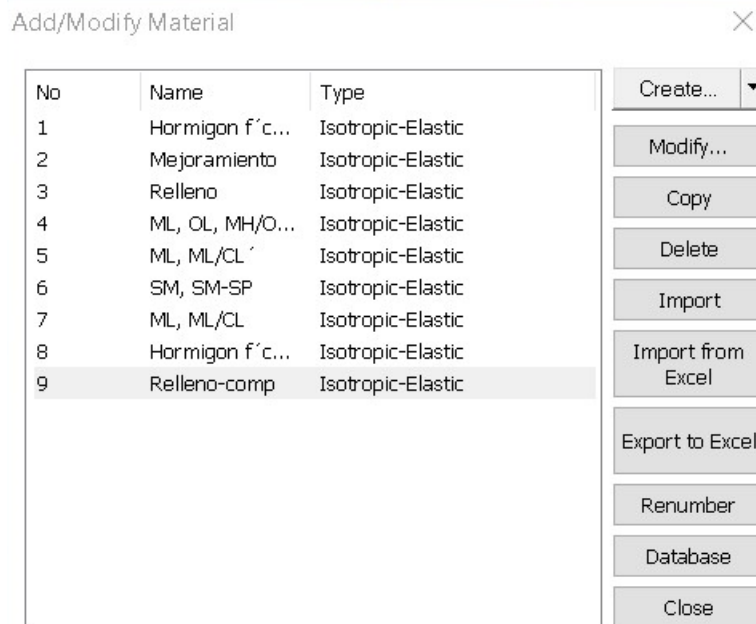
Nota. Espesores de las capas de suelo de la excavación de la cimentación del bloque G. Fuente: (Departamento de fiscalización de la UPS, 2010).

El tipo y propiedades de los materiales estructurales se realizó en base a los planos entregados y ensayos de suelos realizados.

Tabla 16*Cuadro de resumen de materiales*

Material	Tipo
Suelo 1 (Relleno)	Isotrópico-Elástico
Suelo 2 (ML, MH/OH)	Isotrópico-Elástico
Suelo 3 (ML/CL)	Isotrópico-Elástico
Suelo 4 (SM, SM-SP)	Isotrópico-Elástico
Suelo 5 (ML, ML/CL)	Isotrópico-Elástico
Hormigón $f'c=280$ kg/cm ²	Isotrópico-Elástico
Relleno compactado	Isotrópico-Elástico

Nota. Tipo de material seleccionado para usar en el software MIDAS GTS NX. Fuente: (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Figura 27*Tipos de Materiales*

Nota. Materiales utilizados en el software MIDAS GTS NX. Elaborado por: El autor a través de los resultados (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los materiales utilizados en el modelo son los que fueron empleados en la construcción de los elementos estructurales del Bloque G, las propiedades de cada elemento fueron especificadas

en el software como dimensiones, resistencia a la compresión del hormigón y propiedades mecánicas del suelo.

6.1 Elementos 1D

Los elementos estructurales, vigas y columnas, son considerados como elementos de una dimensión (1D) tipo BEAM.

Figura 28
Propiedades de los materiales tipo 1D

Create/Modify 1D Property

×

Beam

ID1NameColumnas 70x70Color

Material8: Hormigon f'c=280kg

☐ Hinge Property

☐ Taper

	Section-i	Section-j	
Cross Sectional Area(A)	0.49	0.49	m^2
Torsional Constant(Ix)	0.0337571824	0.0337571824	m^4
Torsional Stress Coeff.	0.477676502	0.477676502	m
Area Moment of Inertia(Iy)	0.0200083333	0.0200083333	m^4
Area Moment of Inertia(Iz)	0.0200083333	0.0200083333	m^4
Effective Shear Area(Ay)	0.408386502	0.408386502	m^2
Effective Shear Area(Az)	0.408386502	0.408386502	m^2
Shear Stress Coefficient(Gy)	3.06122449	3.06122449	1/m^2
Shear Stress Coefficient(Gz)	3.06122449	3.06122449	1/m^2
	Stress...	Stress...	

y Axis VariableConstant

z Axis VariableConstant

☐ Spacing1m

☒ Section...Solid Rectangle

OK

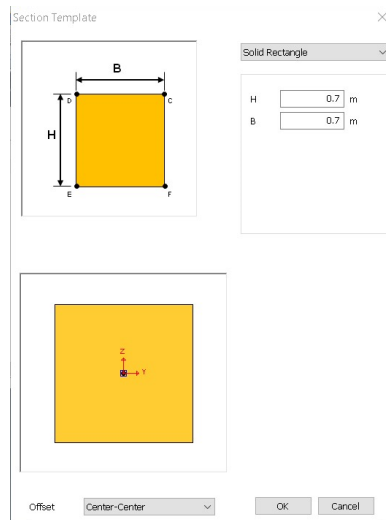
Cancel

Apply

Nota. Propiedades de los materiales tipo beam de 1D. Elaborado por: El autor a través de los resultados (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Figura 29

Sección elementos tipo Beam



Nota. Dimensiones de los materiales tipo beam de 1D. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

6.2 Elementos 2D

Las losas y muros se consideran elementos 2D con las propiedades de tipo SHELL. En los elementos SHELL el software analiza las fuerzas a compresión que soportan y la deformación que produce en este tipo de elementos.

Figura 30

Propiedades de los materiales tipo 2D tipo SHELL

Create/Modify 2D Property

Shell

ID: 11 Name: Losa S Color: [teal]

Material: 8: Hormigon f'c=,' [icon]

Material CSys: ☒ CSys ☐ Angle Element CSys: 0 [deg]

Thickness: ☒ Uniform Thickness Base Function: None

T1/T1: 0.177 m T2: 1 m T3: 1 m T4: 1 m

OK Cancel Apply

Nota. Propiedades de los materiales tipo shell de 2D. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

6.3 Elementos 3D

La creación de elementos 3D es una representación de cuerpos solidos que pueden estar sometidos a esfuerzos en los tres ejes. Los elementos 1D y 2D se unen a los nodos de estos elementos generando un mallado completo con todos los elementos.

Figura 31

Propiedad de elementos en 3D

The image shows a 'Material' dialog box with the following fields and values:

- ID: 7
- Name: ML, ML/CL
- Color: (light blue swatch)
- Model Type: Elastic
- Structure: ☐
- General tab selected
- Elastic Modulus(E): 17834.58 tonf/m²
- Inc. of Elastic Modulus: 0 tonf/m³
- Inc. of Elastic Modulus Ref. Height: 0 m
- Poisson's Ratio(Nu): 0.3
- Unit Weight(Gamma): 1.4 tonf/m³
- Initial Stress Parameters
 - Ko Determination: 1
 - Automatic: ☐
 - Manual: ☒
 - Anisotropy: ☐
- Thermal Parameter
 - Thermal Coefficient: 1e-006 1/[T]
 - Molecular vapor diffusion coefficient: 0 m/day²
 - Thermal diffusion enhancement: 0
- Damping Ratio(For Dynamic)
 - Damping Ratio: 0.05
- Safety Result(Mohr-Coulomb): ☐
- Cohesion(C): 2.8 tonf/m²

Nota. Propiedades de los materiales tipo solidos o 3D. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Cabe señalar que, si estos nodos no se conectan, el tiempo de análisis es excesivo generando problemas y resultados erróneos en el modelo.

6.4 Generación modelo subestructura

El primer modelo se realizó con los elementos estructurales vigas, columnas y cimentaciones, cada uno de ellos con sus propiedades, tipo de materiales y características geométricas con los elementos 1D o 2D. El coeficiente de Balasto se utilizó en los elementos resortes, que son creados al final del mallado y colocados en la base de la cimentación.

Figura 32

Modelo subestructura



Nota. Modelo de subestructura mallado y con elementos tipo resortes. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

A partir de este se generarán los modelos directos

6.5 Generación de modelo con método directo

En el modelo de método directo se ingresaron las coordenadas de las 5 perforaciones del ensayo SPT y las profundidades de cada estrato.

Figura 33

Coordenadas de las perforaciones

Bedding Plane Wizard

Bedding Plane

Bedding Plane Name: Terreno

Boreholes Information

Boreholes Location

Name: 5 Location: -1.32, 41.7, -5.8

Define Bedding Plane...

	Plane Name	Depth (m)
1	Relleno	0.5000
2	ML, OL, MH/OH, ML/CL	2.0000
3	ML	4.5000
4	SM, SM-SP	8.0000
5	ML, ML/CL	12.0000
6		

Add Modify Delete Import

Distance (m)

X-Axis: 100 Y-Axis: 60

Geometry Set: Contra Piso

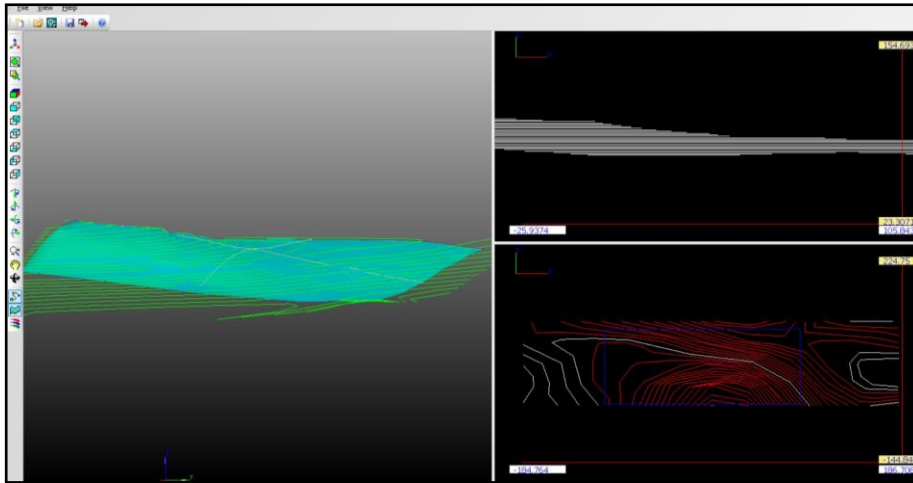
OK Cancel Apply

Nota. Coordenadas x, y y z de las perforaciones realizadas, el tipo de suelo con su respectiva profundidad. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Se utilizó la aplicación Terrain Geometry Maker, que permite ingresar la topografía del lugar y vincular los sondeos con la topografía del terreno.

Figura 34

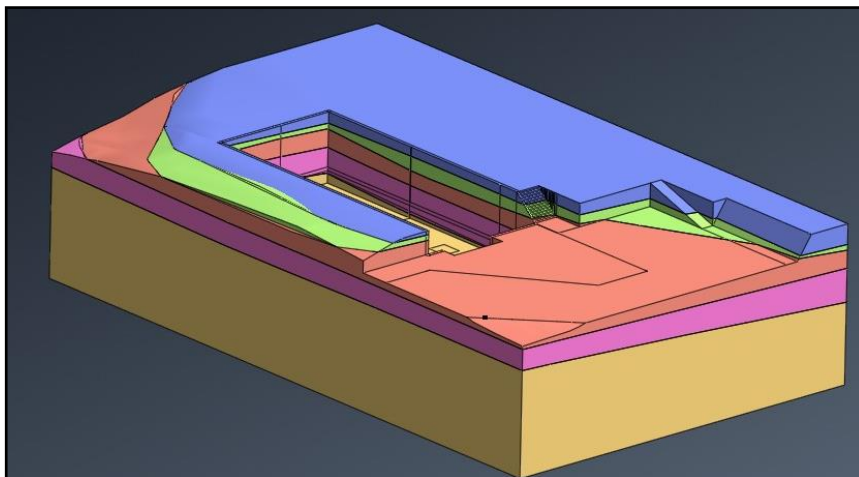
Topografía en Terrain Geometry Maker



Nota. Aplicación Terrain Geometry Maker que permite el modelado de la topografía levantada. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Figura 35

Estratos del terreno Bloque G



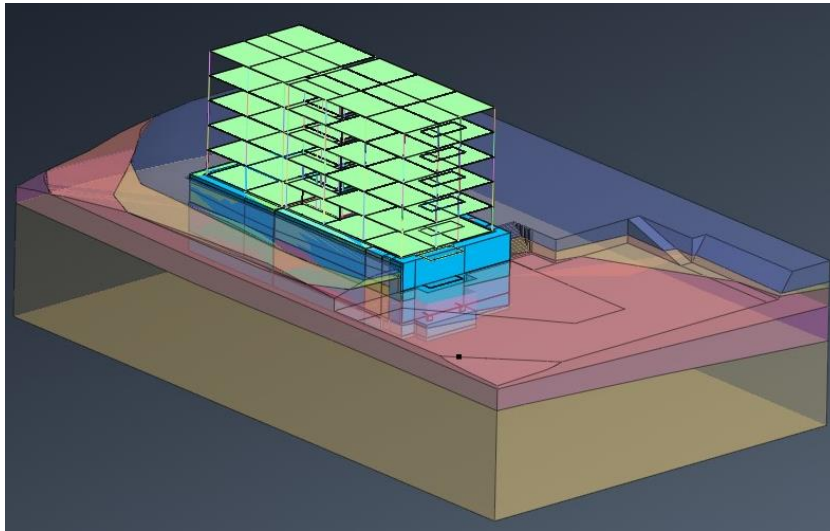
Nota. Geometrías base del suelo sin propiedades. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Con los estratos y la topografía del terreno se tabularon los datos en el software colocando materiales y propiedades de cada uno: peso específico, módulo de elasticidad.

Al ingresar las propiedades de los materiales se escogió el modelo constitutivo Isotrópico-Elástico, es el más adecuado para el presente estudio de la cimentación del edificio.

Figura 36

Terreno y estructura del Bloque G



Nota. Geometrías base de la estructura sin propiedades. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

En la Figura anterior se visualizan los estratos, con los elementos estructurales vigas, columnas, losas y vigas de cimentación, pero sin las propiedades de cada material. Se procedió al mallado para proporcionar sus características mecánicas que cada unidad debe poseer.

Al seleccionar el tipo de análisis y el tipo de solución se activa o desactiva la casilla del nivel freático, esto para simular el N.F sobre y bajo la cimentación.

6.5.1 Generación del mallado

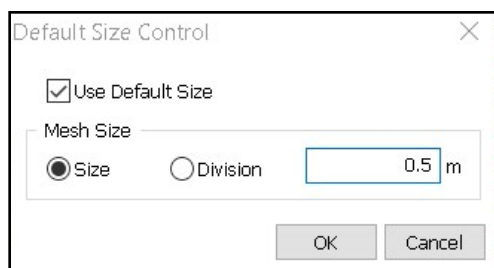
El mallado de los elementos es con la finalidad de asignar a cada nodo un comportamiento y que cada uno trabaje en conjunto, interactuando con los nodos que se encuentran alrededor de

cada uno de ellos, ya que si no existe esta conexión se producen errores y tiempos de análisis demasiado prolongados.

Se consideró un mallado 1D para columnas y vigas, 2D para losas y muros y 3D para cimentaciones. El tamaño del mallado para cada elemento fue de 0.5 m para columnas, vigas, muros, losas y de los sólidos del suelo variaron de 0.5 m hasta 2 m.

Figura 37

Tamaño del mallado

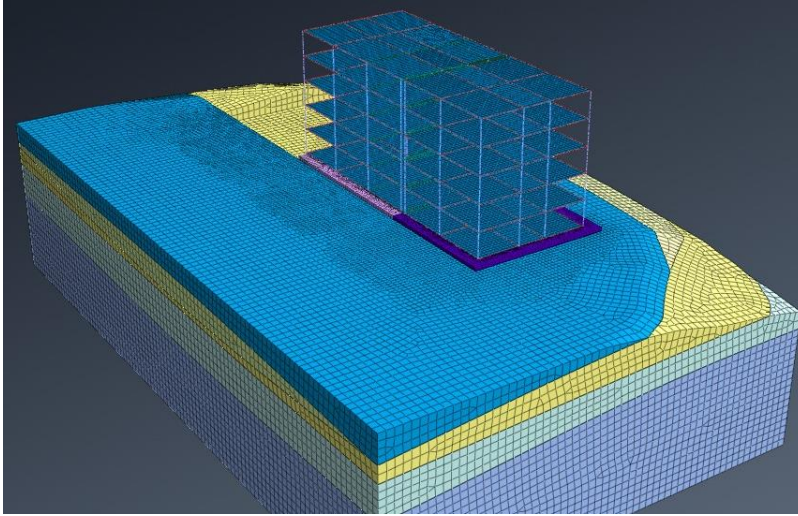


Nota. Control del tamaño del mallado de todos los elementos. Fuente: (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

En la siguiente Figura se observa el mallado final con todos los elementos que integran el modelo.

Figura 38

Modelo directo



Nota. Modelo del método directo fin de construcción mallado e integradas las propiedades de cada elemento. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El resultado final del mallado de todos los elementos se aprecia en la Figura 40 donde se observa las diferentes dimensiones en los elementos 3D y 1D.

CAPÍTULO VII

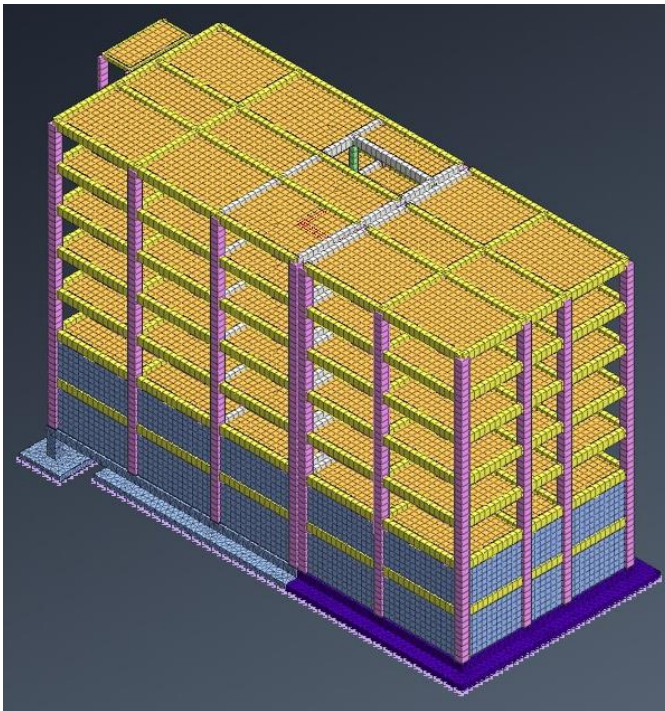
RESULTADOS

Los resultados presentados a continuación están relacionados con el eje H de la edificación, ya que ahí se encontraron los mayores momentos, axiales y asentamientos. Por lo que se procedió a mostrar todos los resultados en referencia al eje antes mencionado para realizar una comparación entre sus resultados.

7.1 Escenario 1 método subestructura fin de construcción

Figura 39

Modelo método subestructura fin de construcción



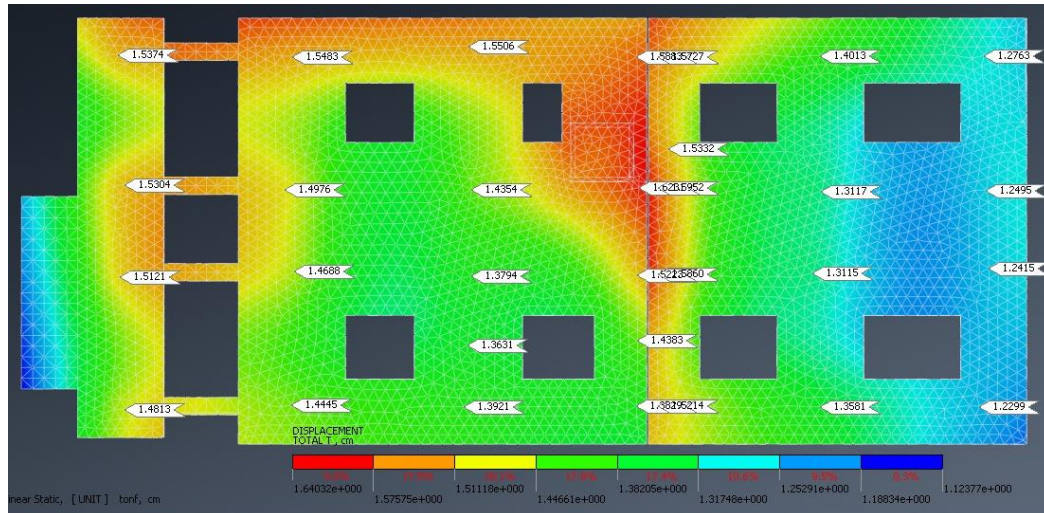
Nota. Modelo del método subestructura fin de construcción mallado y con los elementos resortes. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Este modelo representa solo los elementos estructurales de la edificación, sin la deformación del suelo ni la relación con el nivel freático.

7.1.1 Asentamientos elásticos método subestructura fin de construcción

Figura 40

Asentamientos en vigas de cimentación método subestructura fin de construcción

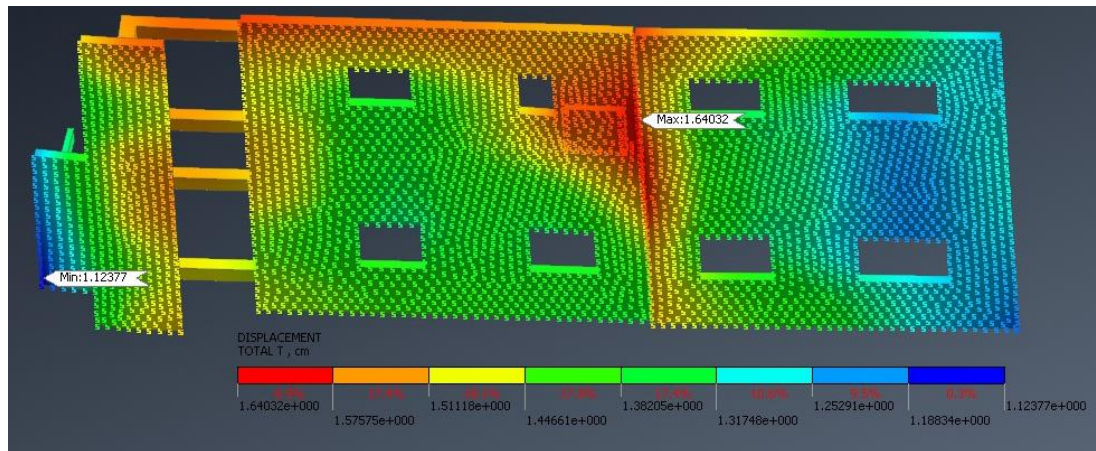


Nota. Asentamientos elásticos ubicados en las bases de las columnas del método subestructura fin de construcción Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los asentamientos elásticos debajo de las columnas no superan 16.2 mm, este asentamiento se ubica bajo la columna G5.

Figura 41

Asentamientos con resorte método subestructura fin de construcción



Nota. Asentamientos máximos y mínimos de los elementos resorte ubicados en la cimentación.
Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El asentamiento máximo que sufre la cimentación es de 16.4 mm ubicándose cerca de la junta de dilatación.

A continuación, se detallan los asentamientos bajo cada columna.

Tabla 17

Asentamientos elásticos en columnas subestructura fin de construcción

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
F1	15.4
F2	15.4
F3	15.5
F5	15.8
F6	15.7
F7	14.0
F8	12.7
G1	15.3
G2	15.0
G3	14.4
<u>G5</u>	<u>16.2</u>
G6	15.9
G7	13.1
G8	12.5

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
H1	15.1
H2	14.7
H3	13.8
H5	15.2
<u>H6</u>	<u>15.9</u>
H7	13.1
H8	12.4
I1	14.8
I2	14.4
I3	13.9
I5	13.8
I6	15.2
I7	13.6
I8	12.3

Nota. Asentamientos elásticos de las columnas y la ubicación de cada una en los ejes. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los asentamientos diferenciales tanto en los ejes X y Y se muestran en la siguiente tabla, con el asentamiento permitido según la norma vigente NEC-15.

Tabla 18

Asentamientos diferenciales entre columnas modelo subestructura

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento diferencial permitido L/500 mm
F1-F2	0	16.0
F2-F3	0.1	16.0
F3-F5	0.3	16.0
F6-F7	1.7	15.2
F7-F8	1.3	16.0
G1-G2	0.3	16.0
G2-G3	1.4	16.0
G3-G5	1.8	16.0
<u>G6-G7</u>	<u>2.8</u>	<u>15.2</u>
G7-G8	0.6	16.0
H1-H2	0.4	16.0
H2-H3	0.9	16.0
H3-H5	1.4	16.0
<u>H6-H7</u>	<u>2.8</u>	<u>15.2</u>
H7-H8	0.7	16.0
I1-I2	0.4	16.0

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento diferencial permitido L/500 mm
I2-I3	0.5	16.0
I3-I5	0.1	16.0
I6-I7	1.6	15.2
I7-I8	1.3	16.0
F1-G1	0.1	12.4
G1-H1	0.2	8.0
H1-I1	0.3	12.4
F2-G2	0.4	12.4
G2-H2	0.3	8.0
H2-I2	0.3	12.4
F3-G3	1.1	12.4
G3-H3	0.6	8.0
H3-I3	0.1	12.4
F5-G5	0.4	12.4
G5-H5	1.0	8.0
H5-I5	1.4	12.4
F6-G6	0.2	12.4
G6-H6	0	8.0
H6-I6	0.7	12.4
F7-G7	0.9	12.4
G7-H7	0	8.0
H7-I7	0.1	12.4
F8-G8	0.2	12.4
G8-H8	0.1	8.0
H8-I8	0.1	12.4

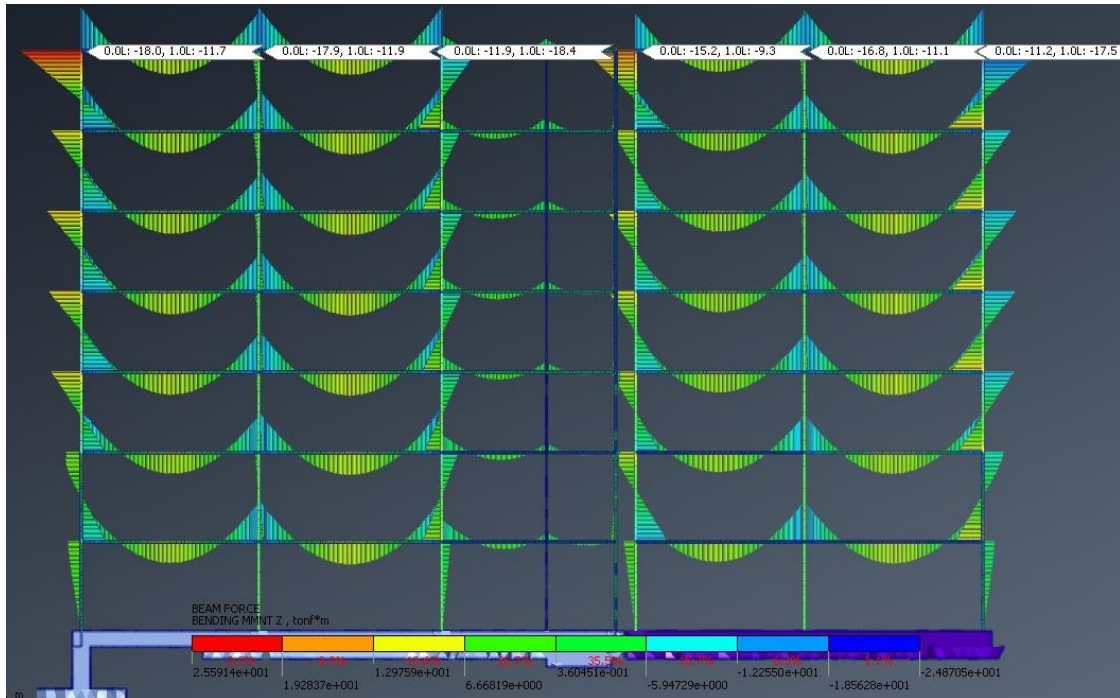
Nota. Asentamientos diferenciales entre columnas y su ubicación en cada eje, asentamientos máximos permisibles L/500 según NEC-15. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Con los resultados expuestos, se aprecia que los asentamientos diferenciales de la edificación no exceden los asentamientos permitidos, encontrándose muy por debajo de lo que recomienda la NEC-15 en edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería con asentamientos $\Delta_{max} = L/500$, siendo los mayores de 2.8 mm ubicados entre las columnas G6-G7 y H6-H7.

7.1.2 Momentos método subestructura fin de construcción

Figura 42

Momentos de vigas en pórtico eje H método subestructura fin de construcción

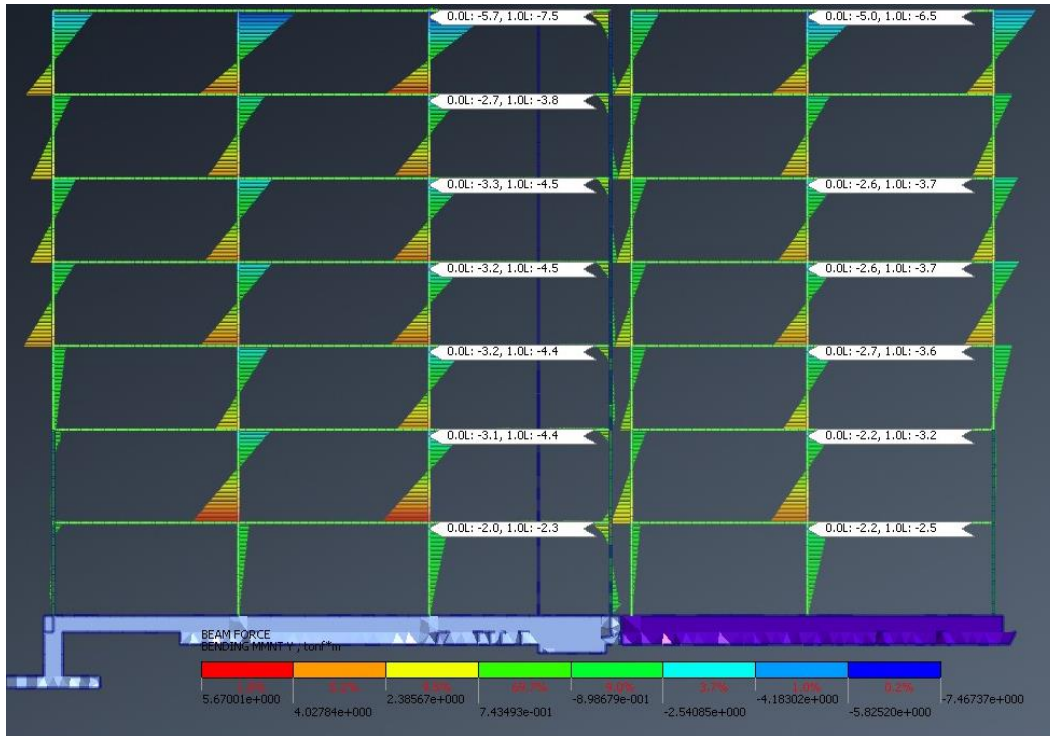


Nota. Momentos máximos en vigas del pórtico del eje H método subestructura fin de construcción. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El pórtico del eje H es donde se encuentra el mayor asentamiento y de este observamos que se obtuvo un momento máximo de 18.4 ton*m en la parte superior de la entre las columnas 2 y 3.

Figura 43

Momentos de columnas en pórtico eje H método subestructura fin de construcción



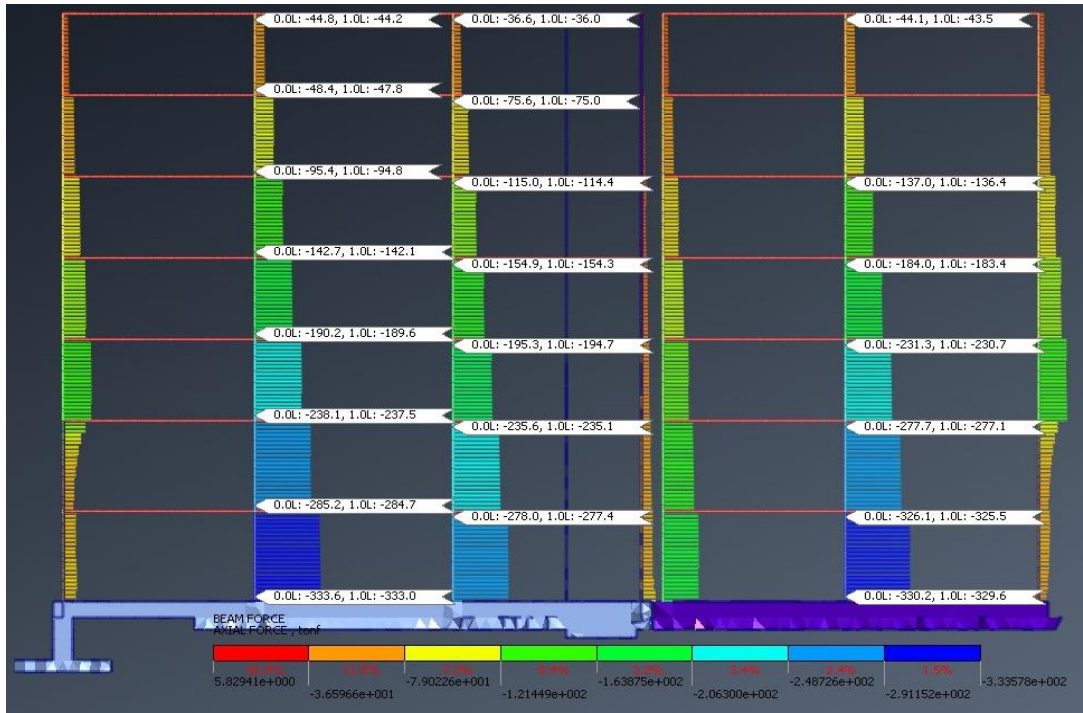
Nota. Momentos máximos en columnas del pórtico del eje H método subestructura fin de construcción. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El momento máximo en columnas alcanzado en el pórtico H es de 7.5 ton*m ubicando en el borde superior de la columna 3.

7.1.3 Axial método subestructura fin de construcción

Figura 44

Axiales en pórtico eje H método subestructura fin de construcción



Nota. Fuerzas axiales máximas en columnas del pórtico del eje H método subestructura.

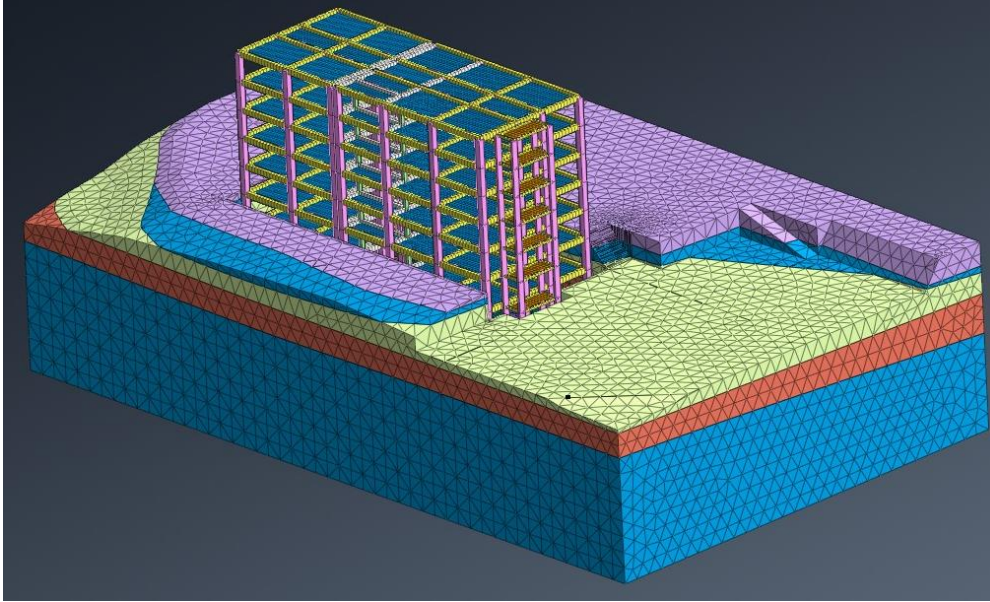
Elaborado por: Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

La mayor fuerza axial del eje H se ubica en la columna 2 con su mayor valor de 330 ton en la parte inferior de la columna.

7.2 Escenario 2 método directo fin de construcción

Figura 45

Modelo método directo fin de construcción



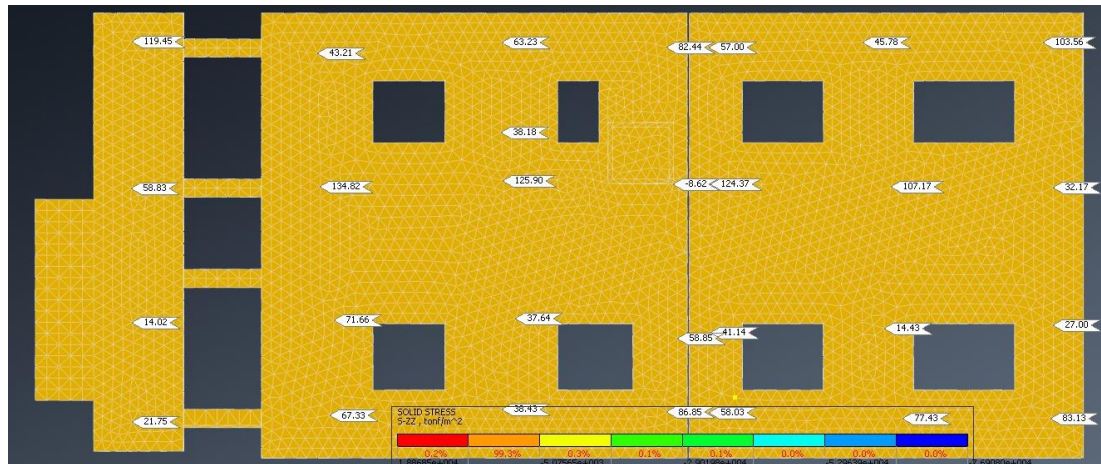
Nota. Modelo del método directo fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Este modelo ya tiene una interacción con las capas del suelo, sus propiedades físicas y mecánicas, pero sin la inserción del nivel freático.

7.2.1 Esfuerzos en el suelo de cimentación y vigas de cimentación método directo fin de construcción

Figura 46

Esfuerzos en vigas de cimentación método directo fin de construcción



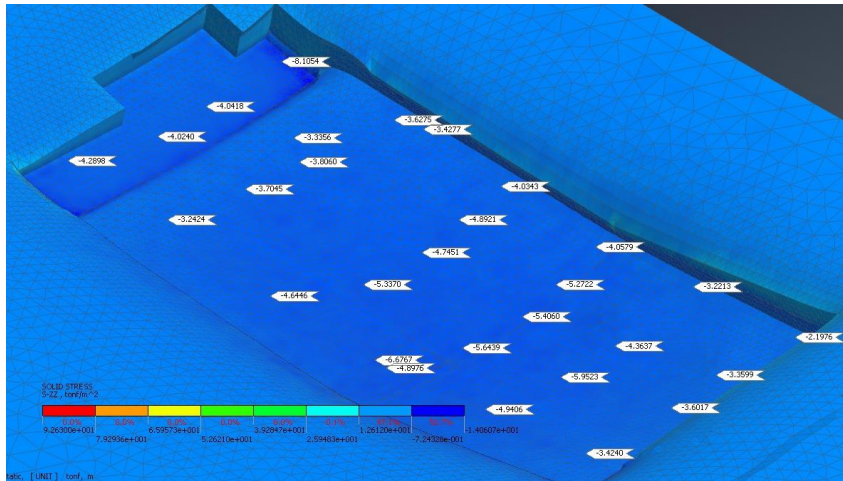
Nota. Esfuerzos de las vigas de cimentación del método directo fin de construcción mallado.

Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor esfuerzo generados en las vigas de cimentación es de 125.90 ton/m².

Figura 47

Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo fin de construcción



Nota. Esfuerzos del suelo de cimentación del método directo fin de construcción mallado.

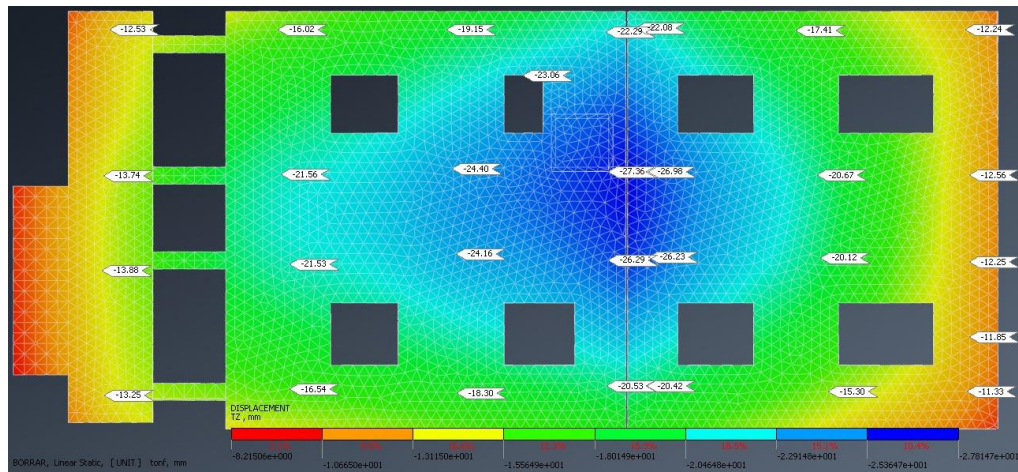
Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El suelo de cimentación soporta esfuerzos no mayores a 8.10 ton/m², con lo que el diseño de vigas de cimentación fue el adecuado para este tipo de terreno con una carga admisible de 11 ton/m².

7.2.2 Asentamientos elásticos método directo fin de construcción

Figura 48

Asentamientos elásticos en vigas de cimentación método directo fin de construcción



Nota. Asentamientos elásticos ubicados en las bases de las columnas del método directo fin de construcción. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los asentamientos elásticos producidos en este modelo no superan el valor de 27.36 mm ubicado cerca de la junta de dilatación de la edificación.

Tabla 19

Asentamientos elásticos bajo columnas método directo fin de construcción

Ubicación	Asentamiento elástico bajo columnas mm
F1	12.5
F2	16.0
F3	19.1
F5	22.3
F6	22.1
F7	17.1
F8	12.2
G1	13.7
G2	21.6
G3	24.4
<u>G5</u>	<u>27.3</u>
G6	26.9

Ubicación	Asentamiento elástico bajo columnas mm
G7	20.7
G8	12.5
H1	13.4
H2	21.5
H3	24.2
<u>H5</u>	<u>26.3</u>
H6	26.2
H7	20.1
H8	12.6
I1	13.2
I2	16.5
I3	18.3
I5	20.5
I6	20.4
I7	15.3
I8	11.3

Nota. Asentamientos elásticos de las columnas y la ubicación de cada una en los ejes. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Tabla 20

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo fin de construcción

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
F1-F2	3.5	16.0
F2-F3	3.1	16.0
F3-F5	3.2	16.0
F6-F7	3.6	15.2
F7-F8	5.2	16.0
G1-G2	7.9	16.0
G2-G3	2.8	16.0
G3-G5	3.0	16.0
G6-G7	6.3	15.2
<u>G7-G8</u>	<u>8.1</u>	<u>16.0</u>
H1-H2	7.6	16.0
H2-H3	2.7	16.0
H3-H5	2.1	16.0
H6-H7	6.1	15.2
<u>H7-H8</u>	<u>7.9</u>	<u>16.0</u>
I1-I2	3.2	16.0

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
I2-I3	1.8	16.0
I3-I5	2.2	16.0
I6-I7	5.1	15.2
I7-I8	4.0	16.0
F1-G1	1.2	12.4
G1-H1	0.2	8.0
H1-I1	0.7	12.4
F2-G2	5.6	12.4
G2-H2	0.1	8.0
H2-I2	5.0	12.4
F3-G3	5.3	12.4
G3-H3	0.2	8.0
H3-I3	5.9	12.4
F5-G5	5.1	12.4
G5-H5	1.1	8.0
H5-I5	5.8	12.4
F6-G6	4.9	12.4
G6-H6	0.8	8.0
H6-I6	5.8	12.4
F7-G7	3.3	12.4
G7-H7	0.6	8.0
H7-I7	4.8	12.4
F8-G8	0.4	12.4
G8-H8	0.4	8.0
H8-I8	0.9	12.4

Nota. Asentamientos diferenciales entre columnas y su ubicación en cada eje, asentamientos máximos permisibles L/500 según NEC-15. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

En este modelo se aprecia que los asentamientos diferenciales en los ejes X y Y, no superan los asentamientos permisibles por la norma vigente NEC-15. Siendo el mayor de 8.1 mm entre las columnas G7 - G8, siendo en este eje la concentración más grande de los asentamientos diferenciales de la edificación la cual se encuentra en la parte Este del edificio o la fachada lateral izquierda junto a la Av. Rumichaca, precisamente en el sitio en donde se evidencian problemas de fisuración.

Figura 49

Ubicación columna G8

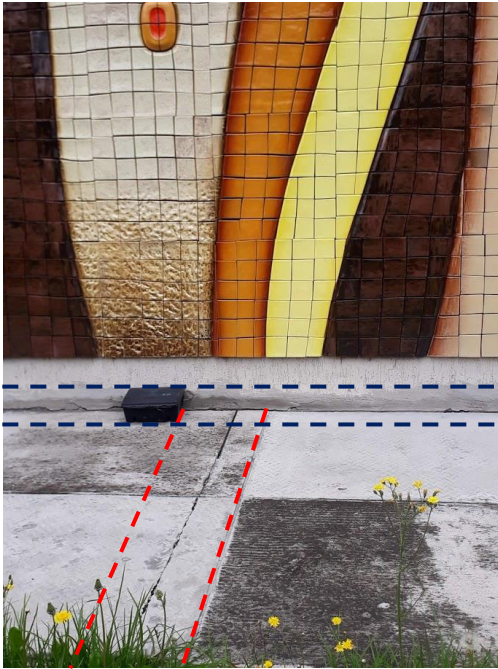


Nota. Representación gráfica y aproximada de la ubicación de las columnas. Elaborado por el autor.

La columna G8 es donde se encuentra el mayor asentamiento diferencial, se ubica en la fachada lateral derecha de la edificación.

Figura 50

Fisurado alrededor de la columna G8



Nota. Fisurado de los acabados de la edificación alrededor de la columna G8. Elaborado por el autor.

En la Figura 52 se aprecia los efectos de los asentamientos, entre las líneas rojas y azules.

Figura 51

Daños en mampostería continua a la columna G8



Nota. Fisurado de los acabados de la edificación alrededor de la columna G8. Elaborado por el autor.

En la Figura 51 se aprecia los daños que se produjeron por el asentamiento en la columna G8.

Figura 52

Asentamiento diferencial áreas aledañas a columna G8 método directo fin de construcción

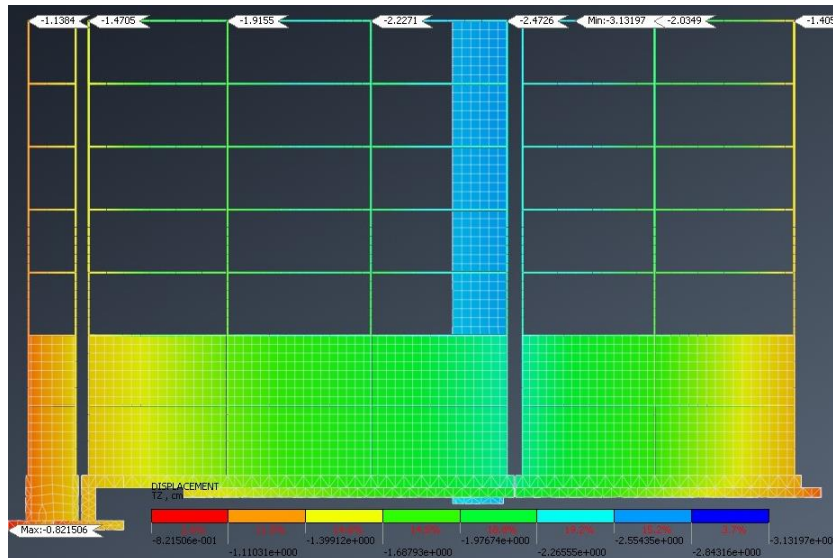


Nota. Fisurado de los acabados de la edificación alrededor de la columna G8. Elaborado por el autor.

La figura 52 se observa la ubicación de la columna G8 y las fisuras generadas por el asentamiento ejercido en este elemento estructural.

Figura 53

Asentamientos en estructura método directo fin de construcción



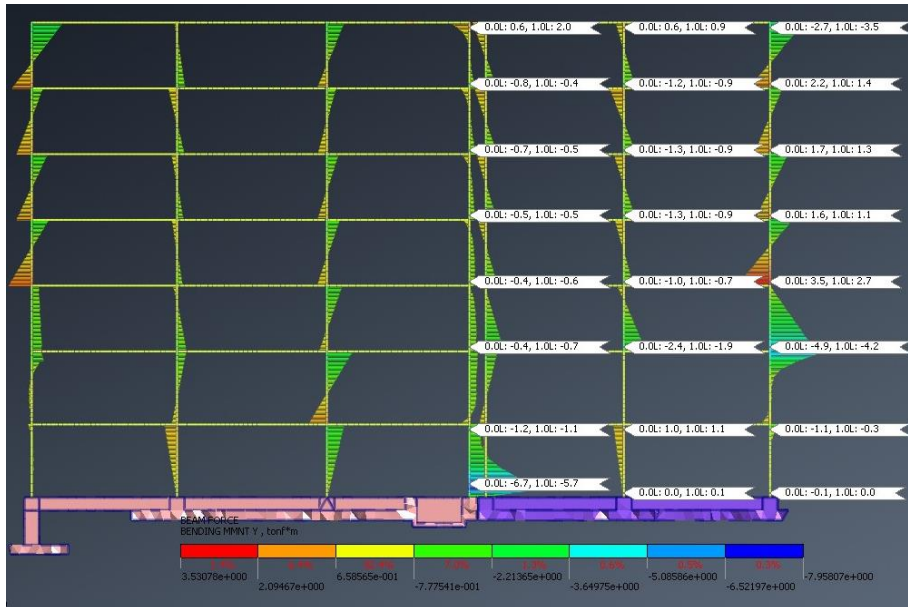
Nota. Asentamientos elásticos en las cabezas de las columnas Esfuerzos del suelo del método directo fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los mayores asentamientos encontrados en las cabezas de las columnas se encuentran cerca de la junta de dilatación bordeando los 3 mm.

7.2.3 Momentos método directo fin de construcción

Figura 54

Momentos en columnas en pórtico eje H método directo fin de construcción

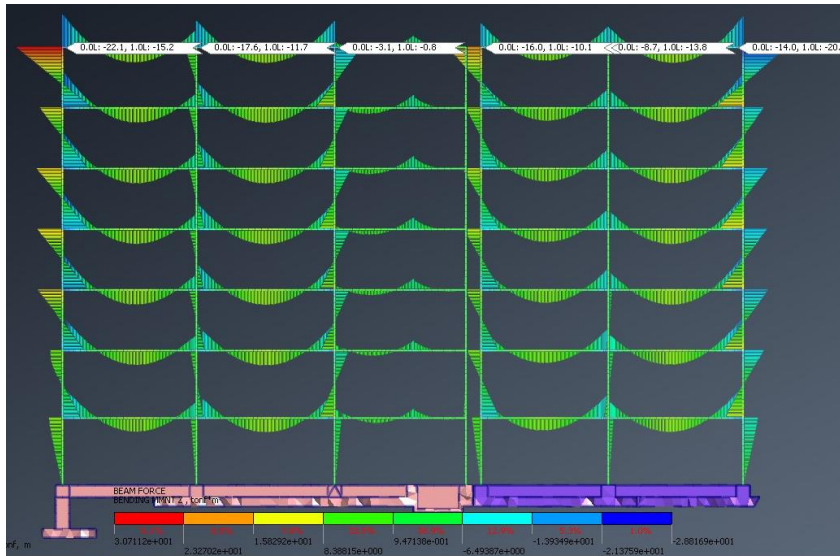


Nota. Momentos máximos en columnas del pórtico del eje H método directo fin de construcción. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El momento máximo se encuentra en el eje 8 con un momento máximo de 3.5 ton/m² ubicado en la parte superior de la edificación.

Figura 55

Momentos de vigas en pórtico eje H método directo fin de construcción



Nota. Momentos máximos en vigas del pórtico del eje H método directo fin de construcción.

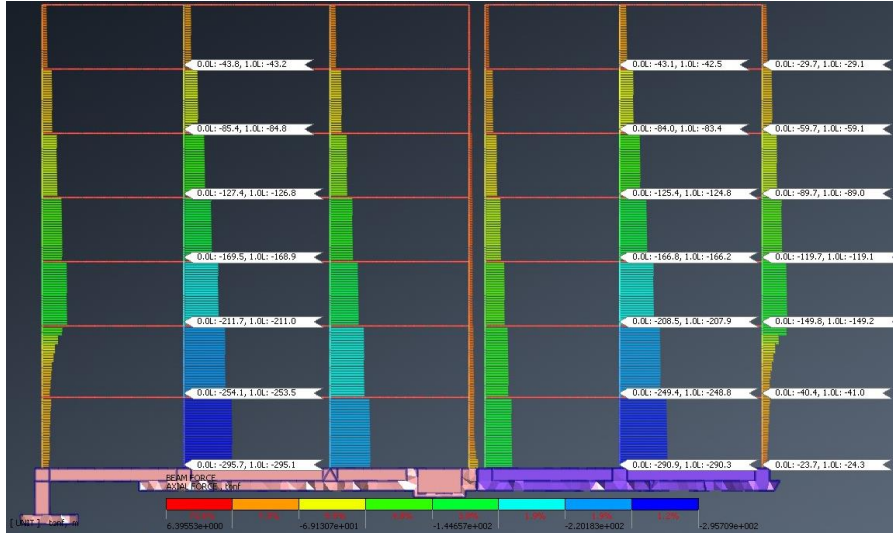
Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El momento máximo de 20.7 ton*m se encuentra en la viga entre las columnas 7 y 8 donde se ubica el mayor asentamiento diferencial.

7.2.4 Axial método directo fin de construcción

Figura 56

Axiales en pórtico eje H método directo fin de construcción



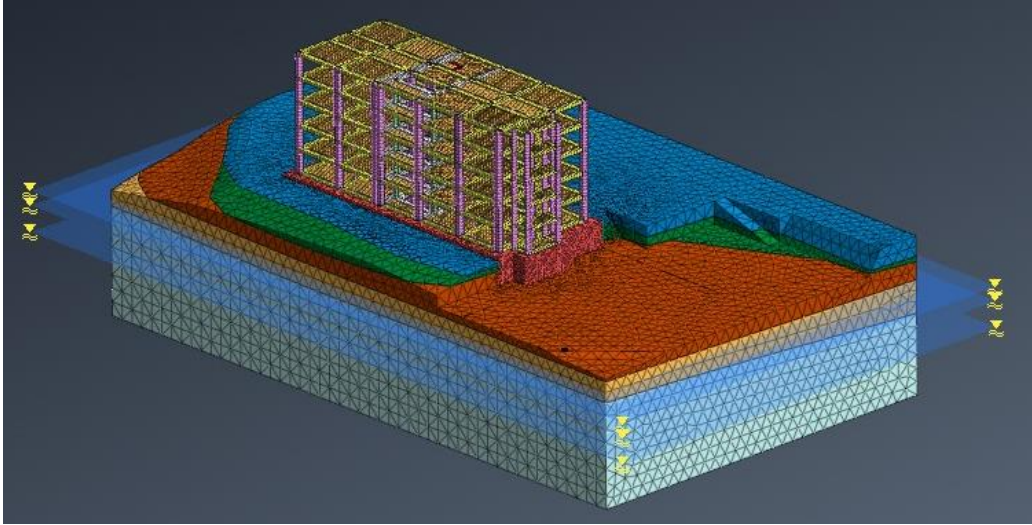
Nota. Fuerzas axiales máximas en columnas del pórtico del eje H método directo fin de construcción. Elaborado por: El autor a través de (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

En el eje H se ubican la mayor concentración de las fuerzas axiales, siendo el mayor de 295.1 ton ubicada en el eje 2 en la columna del subsuelo 2 de la estructura.

7.3 Escenario 3 método directo con variación nivel freático

Figura 57

Modelo método directo con variación nivel freático



Nota. Modelo del método directo fin de construcción con diferentes niveles freáticos y mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

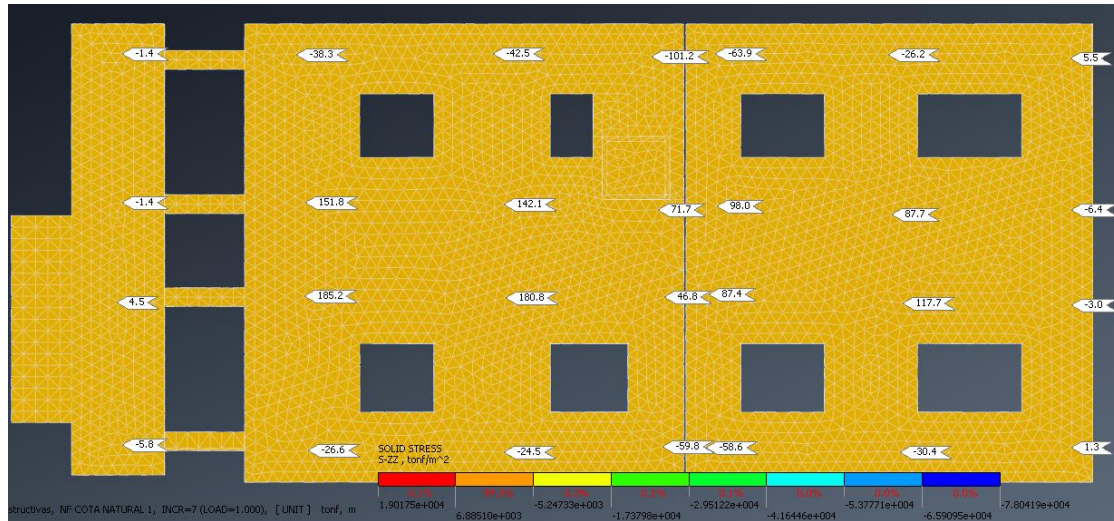
La Figura 57 representa el modelo completo de la edificación y del terreno, con variación del nivel freático desde los -5.6 m hasta -12.6 m.

El nivel freático influye en los asentamientos diferenciales de la edificación, siendo más propenso a sufrir diferenciales mayores cuando baja el nivel freático debido al incremento de esfuerzos efectivos, esta consideración no dependerá del tiempo dado que el comportamiento del suelo es drenado a corto plazo.

7.3.1 Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-5.6 m

Figura 58

Esfuerzos en vigas de cimentación método directo con NF n-5.6 m

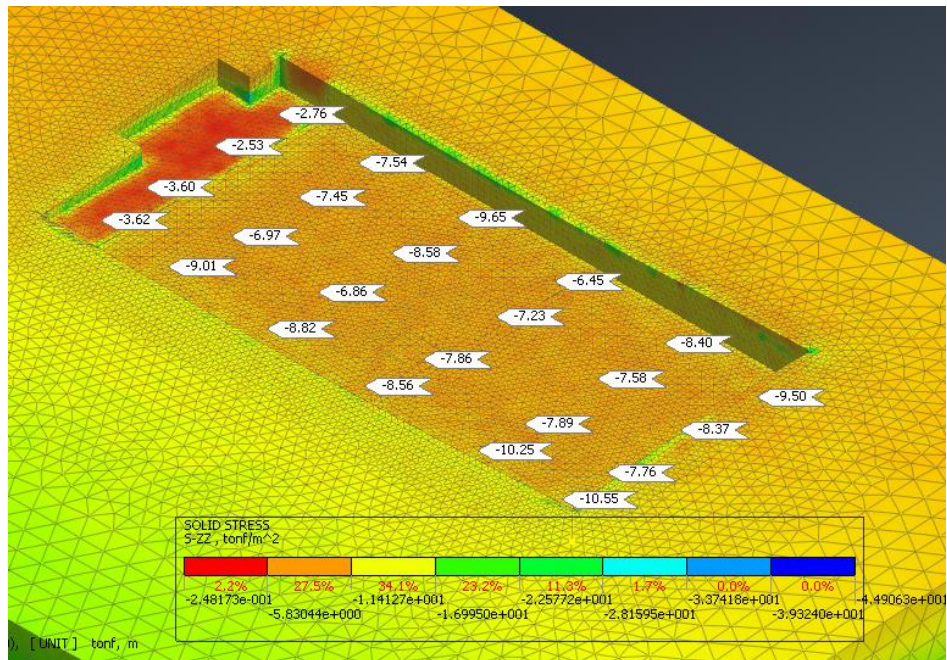


Nota. Esfuerzos de las vigas de cimentación del método directo NF -5.60 m fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor esfuerzo se encuentra en el eje H bajo la columna del eje 2 con un valor de 185.2 ton.

Figura 59

Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-5.6 m



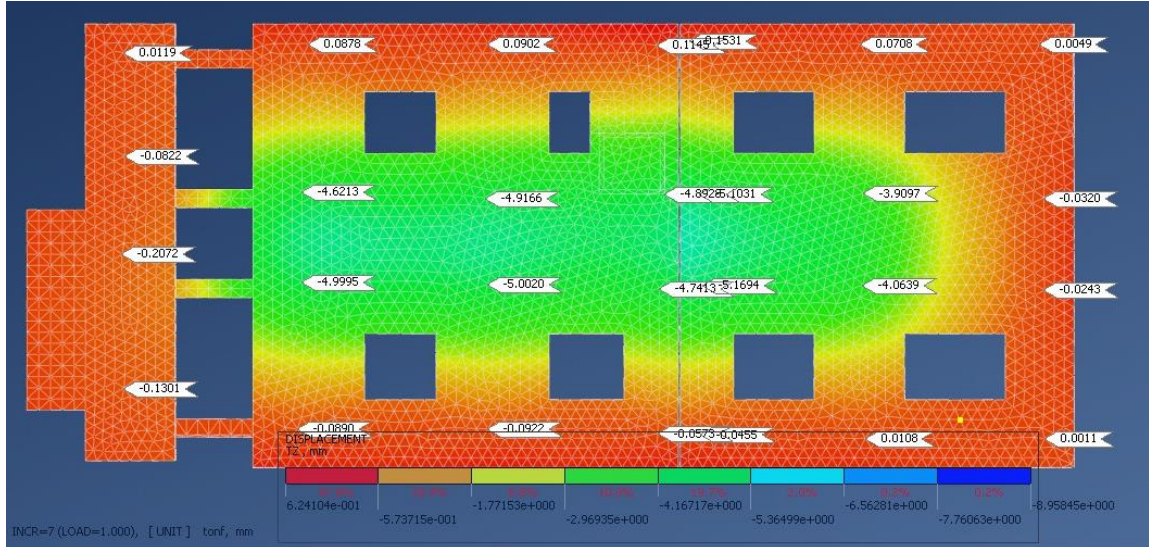
Nota. Esfuerzos del suelo de cimentación del método directo NF -5.60 m fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor esfuerzo experimentado en el suelo de cimentación es de 10.55 ton/m², sin superar las 11.0 ton/m² de los ensayos de laboratorio.

7.3.2 Asentamientos elásticos método directo con NF n-5.6 m

Figura 60

Asentamientos elásticos en vigas de cimentación método directo NF n-5.6 m



Nota. Asentamientos elásticos ubicados en las bases de las columnas del método directo con NF -5.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor asentamiento elástico encontrado bajo las bases de las columnas es de 5.17 mm, en el eje H bajo la columna 6.

Tabla 21

Asentamientos elásticos en columnas método directo NF n-5.6 m

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
F1	0.01
F2	0.09
F3	0.09
F5	0.11
F6	0.15
F7	0.07
F8	0.005
G1	0.08
G2	4.62
G3	4.92

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
G5	4.89
G6	5.10
G7	3.91
G8	0.03
H1	0.21
H2	4.99
H3	5.00
H5	4.74
<u>H6</u>	<u>5.17</u>
H7	4.06
H8	0.02
I1	0.13
I2	0.09
I3	0.09
I5	0.06
I6	0.05
I7	0.01
I8	0.001

Nota. Asentamientos elásticos de las columnas y la ubicación de cada una en los ejes. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Se aprecia que en los ejes G y H existen los mayores asentamientos elásticos de la estructura, siendo el mayor de 5.17 mm.

Tabla 22

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo NF n-5.6 m

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
F1-F2	0.08	16.0
F2-F3	0	16.0
F3-F5	0.02	16.0
F6-F7	0.08	15.2
F7-F8	0.07	16.0
G1-G2	4.54	16.0
G2-G3	0.3	16.0
G3-G5	0.03	16.0
G6-G7	1.2	15.2
G7-G8	3.87	16.0
H1-H2	4.78	16.0

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
H2-H3	0	16.0
H3-H5	0.26	16.0
H6-H7	1.11	15.2
H7-H8	4.04	16.0
I1-I2	0.04	16.0
I2-I3	0	16.0
I3-I5	0.04	16.0
I6-I7	0.03	15.2
I7-I8	0	16.0
F1-G1	0.07	12.4
G1-H1	0.12	8.0
H1-I1	0.08	12.4
F2-G2	4.53	12.4
G2-H2	0.37	8.0
H2-I2	4.90	12.4
F3-G3	4.83	12.4
G3-H3	0.08	8.0
H3-I3	4.91	12.4
F5-G5	4.78	12.4
G5-H5	0.15	8.0
H5-I5	4.68	12.4
F6-G6	4.95	12.4
G6-H6	0.06	8.0
<u>H6-I6</u>	<u>5.12</u>	<u>12.4</u>
F7-G7	3.83	12.4
G7-H7	0.16	8.0
H7-I7	4.05	12.4
F8-G8	0.03	12.4
G8-H8	0	8.0
H8-I8	0.023	12.4

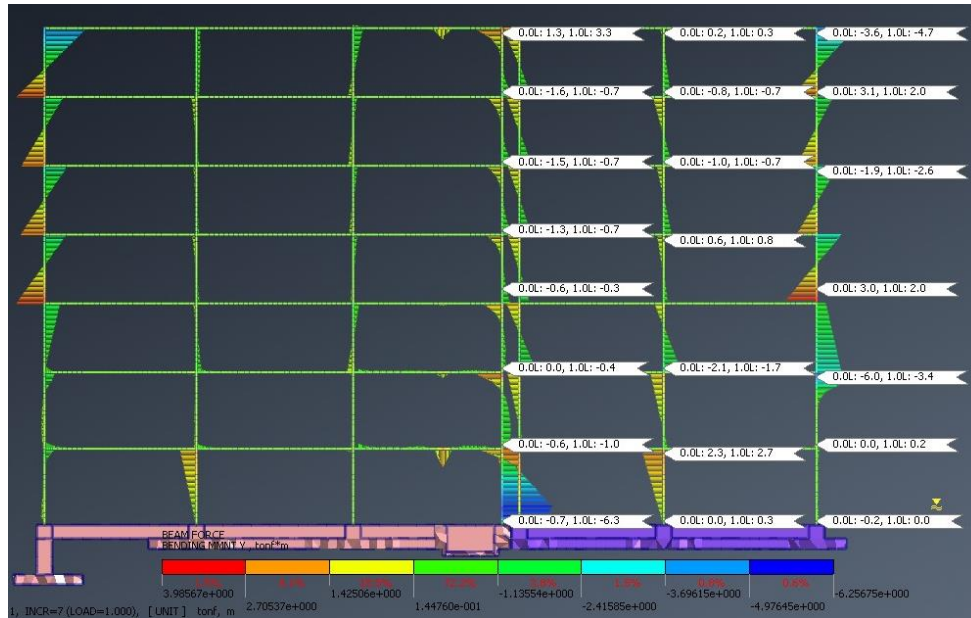
Nota. Asentamientos diferenciales entre columnas y su ubicación en cada eje, asentamientos máximos permisibles L/500 según NEC-15. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los asentamientos diferenciales de la edificación se ubican en el eje 6 con un valor máximo de 5.12 mm entre los ejes H e I.

7.3.3 Momentos método directo con NF n-5.6 m

Figura 61

Momentos de columnas en pórtico eje H método directo NF n-5.6 m

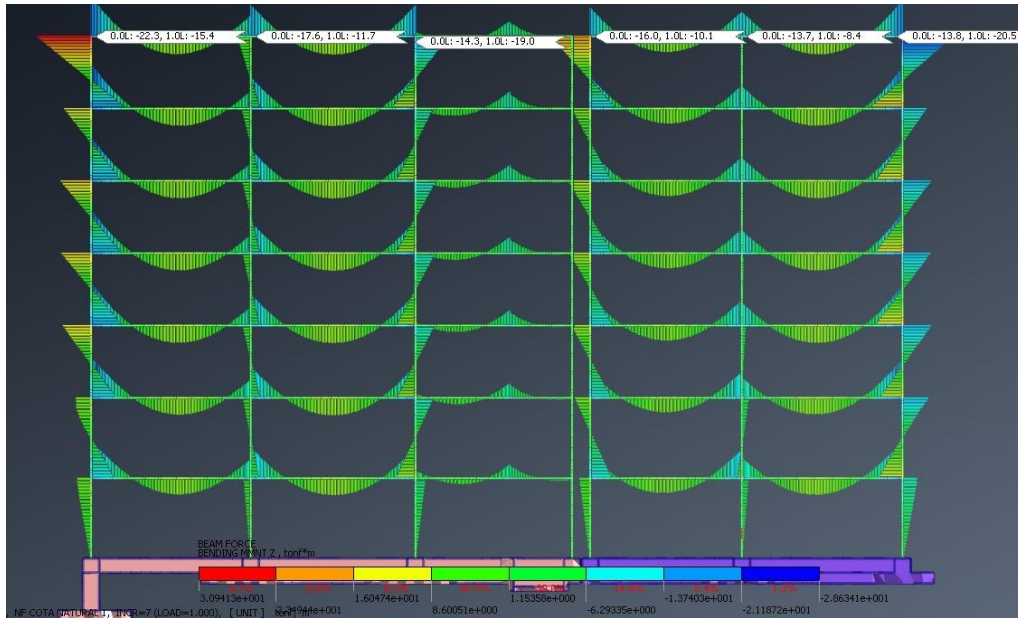


Nota. Momentos máximos en columnas del pórtico del eje H método directo NF -5.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor momento del eje H se ubica en la columna 5 en la base de la columna con un momento máximo de 6.3 ton*m.

Figura 62

Momentos de vigas en pórtico eje H método directo NF n-5.6 m



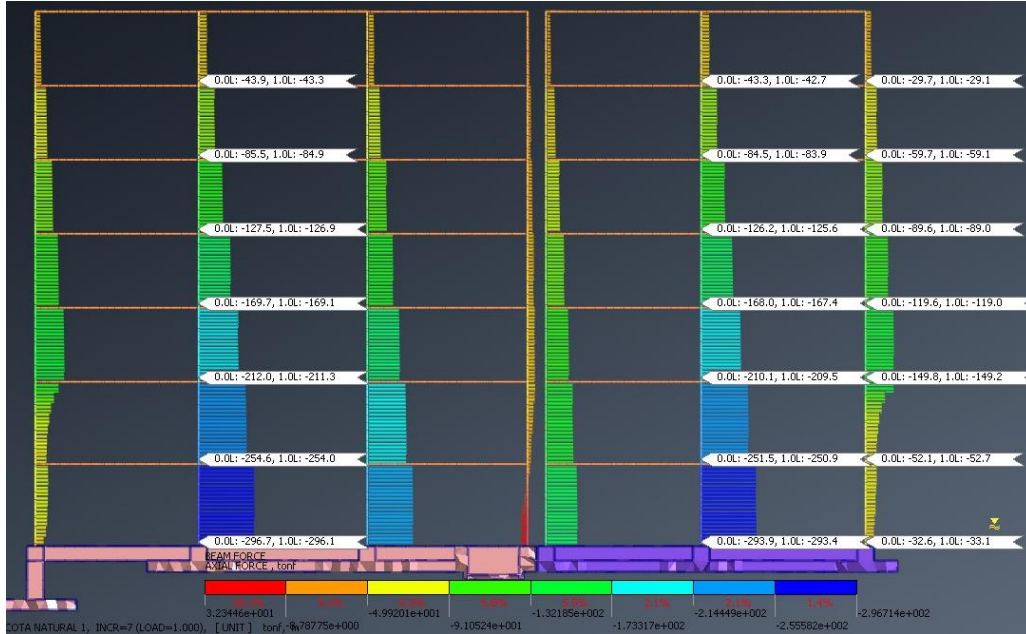
Nota. Momentos máximos en vigas del pórtico del eje H método directo NF -5.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor momento en vigas del pórtico del eje H se ubica entre los ejes 7 y 8 con un valor de 20.5 ton*m.

7.3.4 Axial método directo con NF n-5.6 m

Figura 63

Axiales en pórtico eje H método directo con NF n-5.6 m



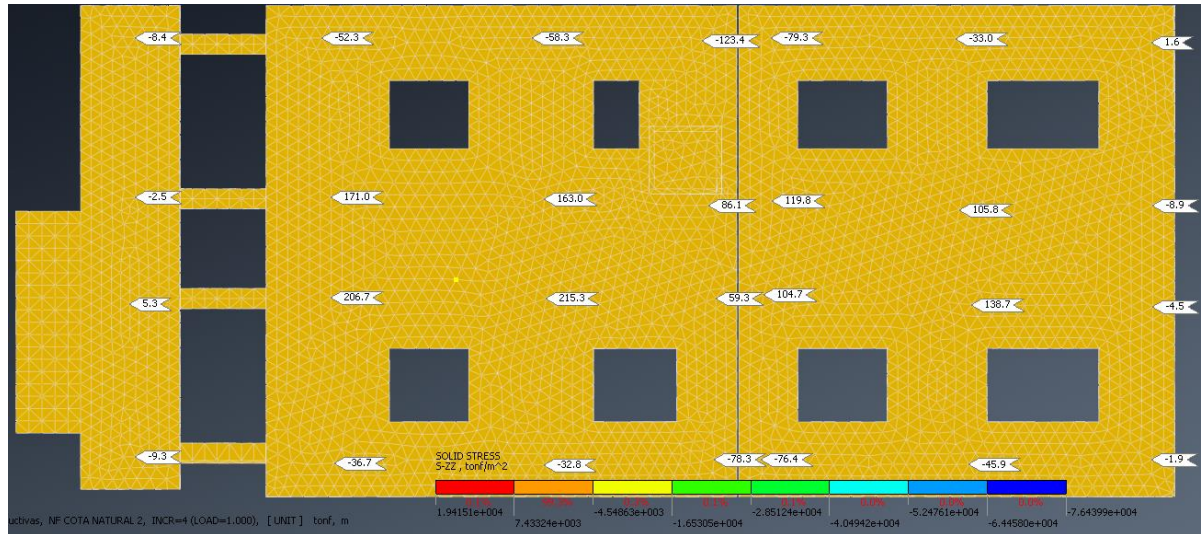
Nota. Fuerzas axiales máximas en columnas del pórtico del eje H método directo NF -5.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El máximo axial del pórtico del eje H se ubica en la columna del eje 2, en la base de la columna con un valor de 296.7 ton*m.

7.3.5 Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-10.6 m

Figura 64

Esfuerzos en vigas de cimentación método directo con NF n-10.6 m

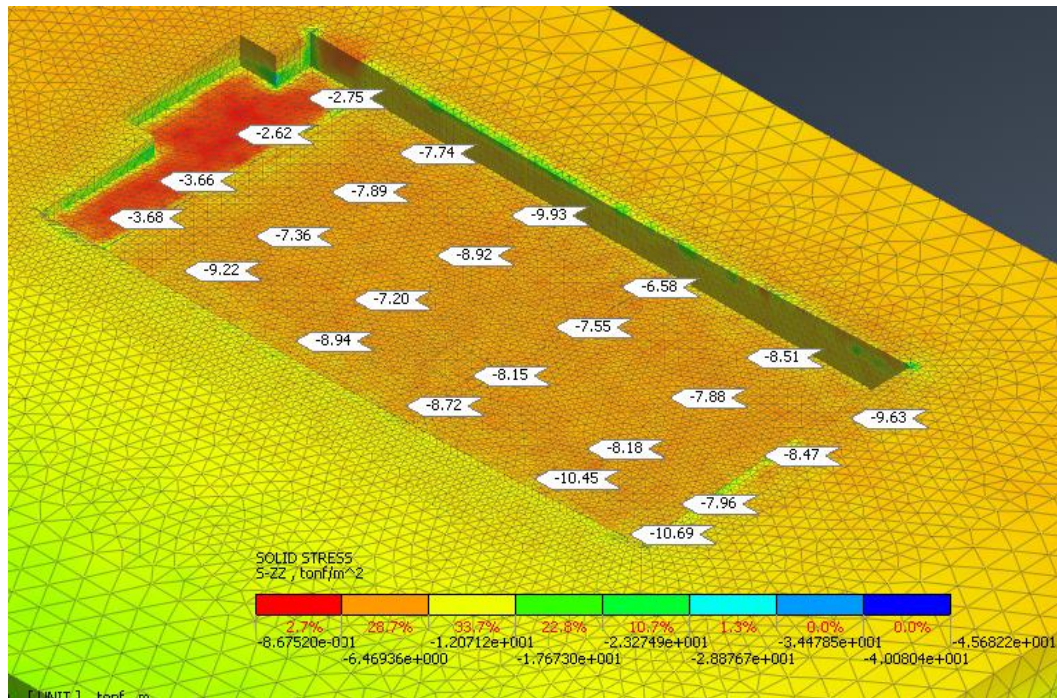


Nota. Esfuerzos de las vigas de cimentación del método directo NF -10.60 m fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor esfuerzo que se encuentra es en la columna H3 con un valor de 215.3 ton.

Figura 65

Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo NF n-10.6 m



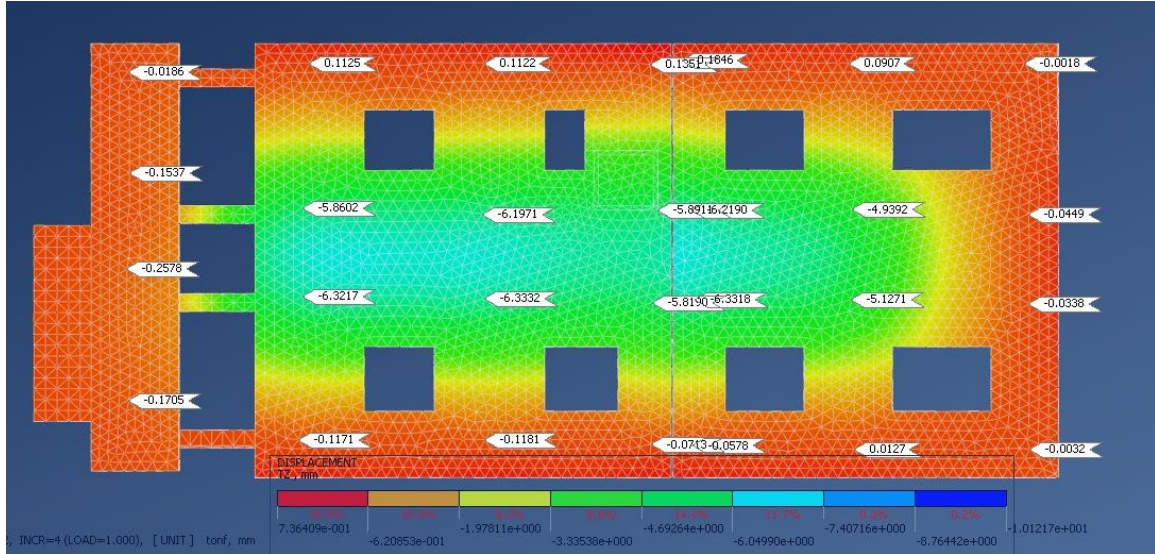
Nota. Esfuerzos del suelo de cimentación del método directo NF -10.60 m fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor esfuerzo encontrado en el suelo de cimentación de este modelo es de 10.69 ton/m², aun por debajo de las 11.0 ton/m².

7.3.6 Asentamientos elásticos método directo con NF n-10.6 m

Figura 66

Asentamientos elásticos bajo vigas de cimentación método directo NF n-10.6 m



Nota. Asentamientos elásticos ubicados en las bases de las columnas del método directo con NF -10.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los mayores asentamientos elásticos bajo las columnas se encuentran ubicadas en el centro de la edificación con más precisión en el eje H y entre los ejes 3 y 5, con valores de 6.33 mm.

Tabla 23

Asentamientos elásticos en columnas método directo NF n-10.6 m

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
F1	0.02
F2	0.11
F3	0.11
F5	0.13
F6	0.18
F7	0.09
F8	0.002
G1	0.15
G2	5.86
G3	6.19

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
G5	5.89
G6	6.22
G7	4.94
G8	0.04
H1	0.26
<u>H2</u>	<u>6.32</u>
<u>H3</u>	<u>6.33</u>
H5	5.82
<u>H6</u>	<u>6.33</u>
H7	5.13
H8	0.03
I1	0.17
I2	0.12
I3	0.12
I5	0.07
I6	0.06
I7	0.01
I8	0.003

Nota. Asentamientos elásticos de las columnas y la ubicación de cada una en los ejes. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Los asentamientos máximos encontrados en este modelo se ubican en el eje H entre los ejes 2, 3 y 6, con valores de 6.33 mm en los tres ejes.

Tabla 24

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo NF n-10.6 m

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
F1-F2	0.09	16.0
F2-F3	0	16.0
F3-F5	0.02	16.0
F6-F7	0.09	15.2
F7-F8	0.09	16.0
G1-G2	5.7	16.0
G2-G3	0.33	16.0
G3-G5	0.31	16.0
G6-G7	1.22	15.2
G7-G8	4.94	16.0
H1-H2	6.06	16.0
H2-H3	0.01	16.0

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
H3-H5	0.51	16.0
H6-H7	1.22	15.2
H7-H8	5.09	16.0
I1-I2	0.05	16.0
I2-I3	0	16.0
I3-I5	0.05	16.0
I6-I7	0.45	15.2
I7-I8	0	16.0
F1-G1	0.13	12.4
G1-H1	0.10	8.0
H1-I1	0.09	12.4
F2-G2	5.75	12.4
G2-H2	0.46	8.0
H2-I2	6.2	12.4
F3-G3	6.08	12.4
G3-H3	0.14	8.0
H3-I3	6.22	12.4
F5-G5	5.76	12.4
G5-H5	0.07	8.0
H5-I5	5.75	12.4
F6-G6	6.04	12.4
G6-H6	0.11	8.0
<u>H6-I6</u>	<u>6.27</u>	<u>12.4</u>
F7-G7	4.85	12.4
G7-H7	0.19	8.0
H7-I7	5.11	12.4
F8-G8	0.04	12.4
G8-H8	0.01	8.0
H8-I8	0.03	12.4

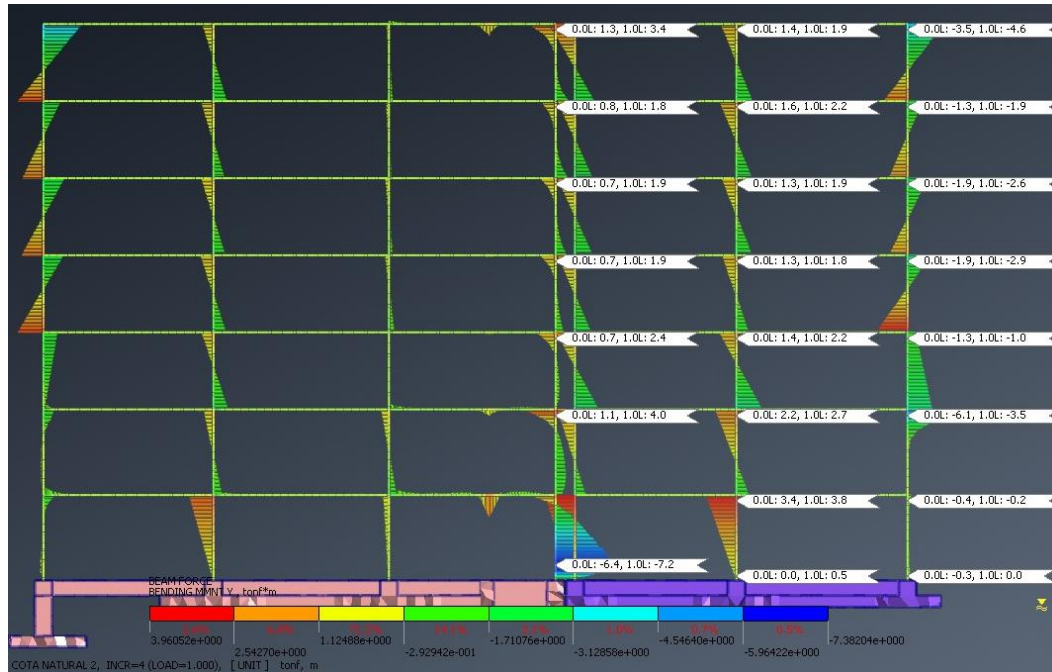
Nota. Asentamientos diferenciales entre columnas y su ubicación en cada eje, asentamientos máximos permisibles L/500 según NEC-15. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor asentamiento diferencial en este modelo se ubica entre los ejes H e I del eje 6, con un valor máximo de 6.27 mm, siendo menor al permitido por la norma vigente.

7.3.7 Momentos método directo con NF n-10.6 m

Figura 67

Momentos de columnas en pórtico eje H método directo NF n-10.6 m

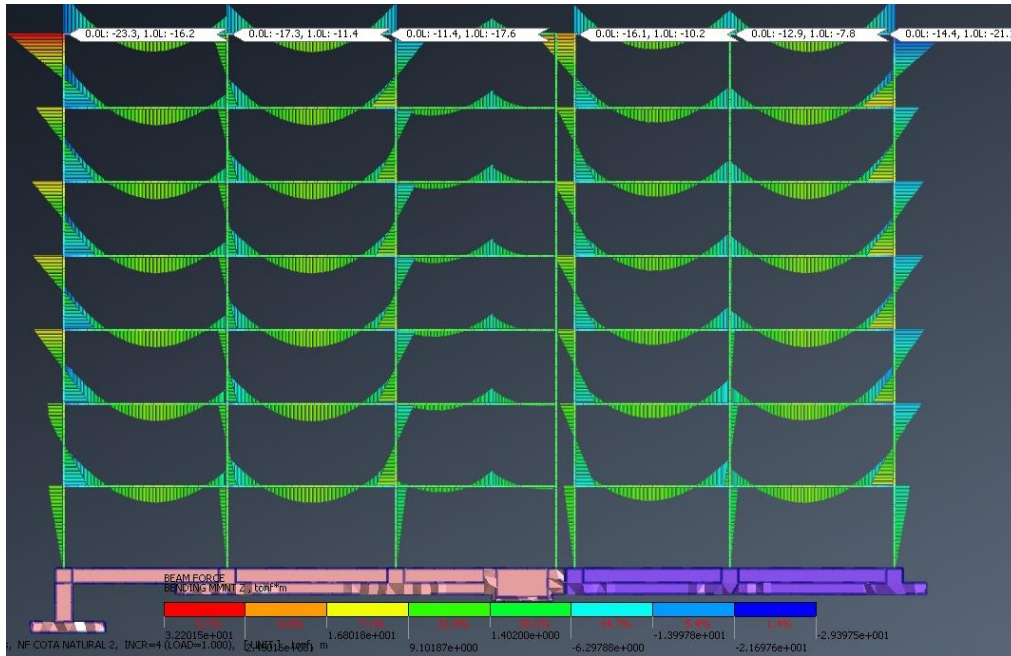


Nota. Momentos máximos en columnas del pórtico del eje H método directo NF -10.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor momento en columnas, presentado en este modelo se ubica en la columna H5 en su base con un valor de 7.2 ton*m.

Figura 68

Momentos de vigas en pórtico eje H método directo NF n-10.6 m



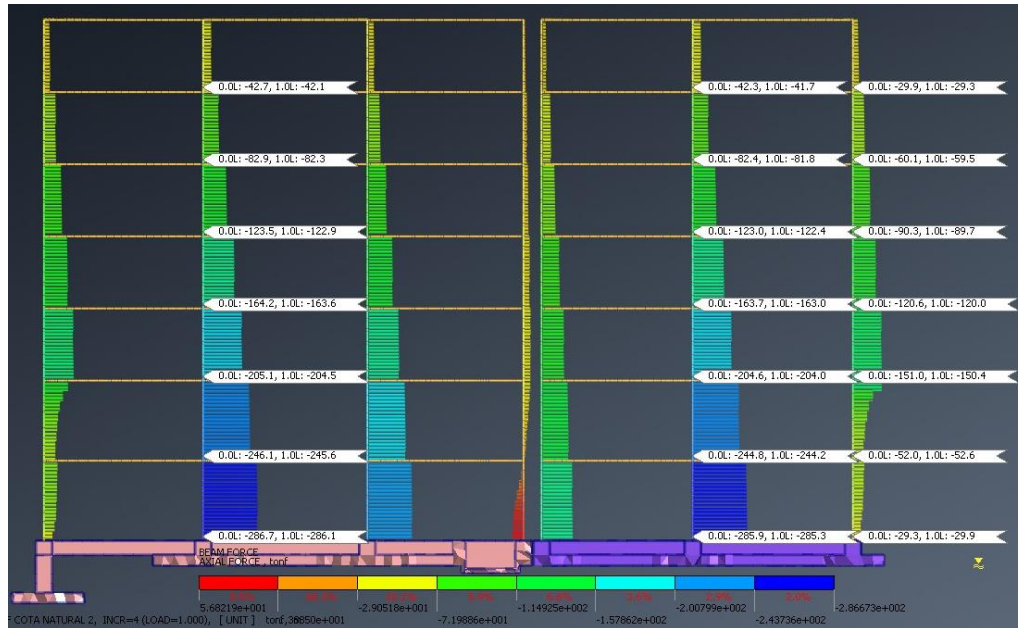
Nota. Momentos máximos en vigas del pórtico del eje H método directo NF -10.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Las vigas de la parte superior de la edificación sufren los mayores momentos entre ellos el máximo con un valor de 23.3 ton*m, entre los ejes 1 y 2

7.3.8 Axial método directo con NF n-10.6 m

Figura 69

Axiales de columnas en pórtico eje H método directo NF n-10.6 m



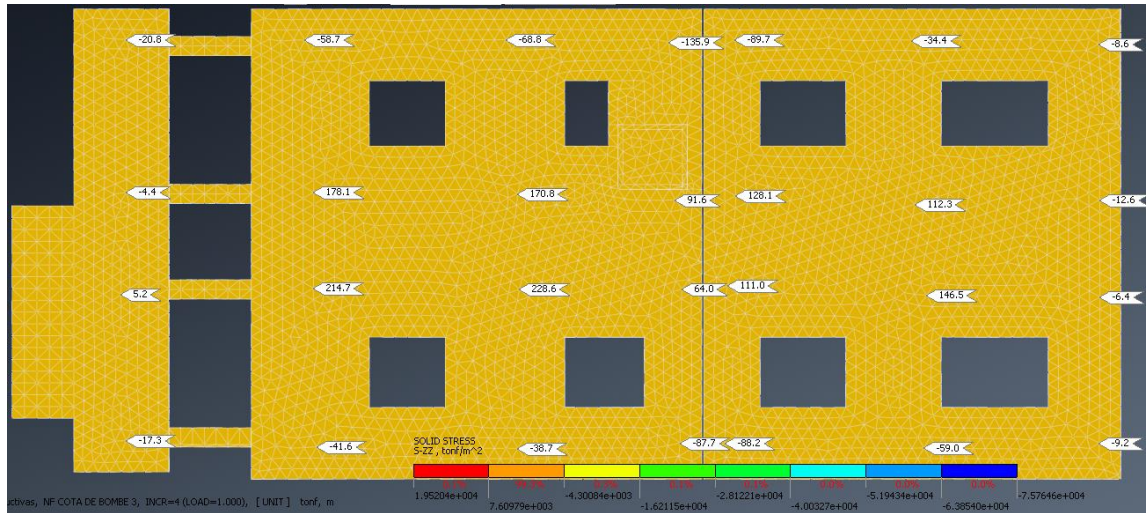
Nota. Fuerzas axiales máximas en columnas del pórtico del eje H método directo NF -10.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Uno de los mayores axiales en este modelo se ubica en la columna H2 en la base con un valor de 286.1 ton.

7.3.9 Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo con NF n-12.6 m

Figura 70

Esfuerzos en vigas de cimentación método directo con NF n-12.6 m

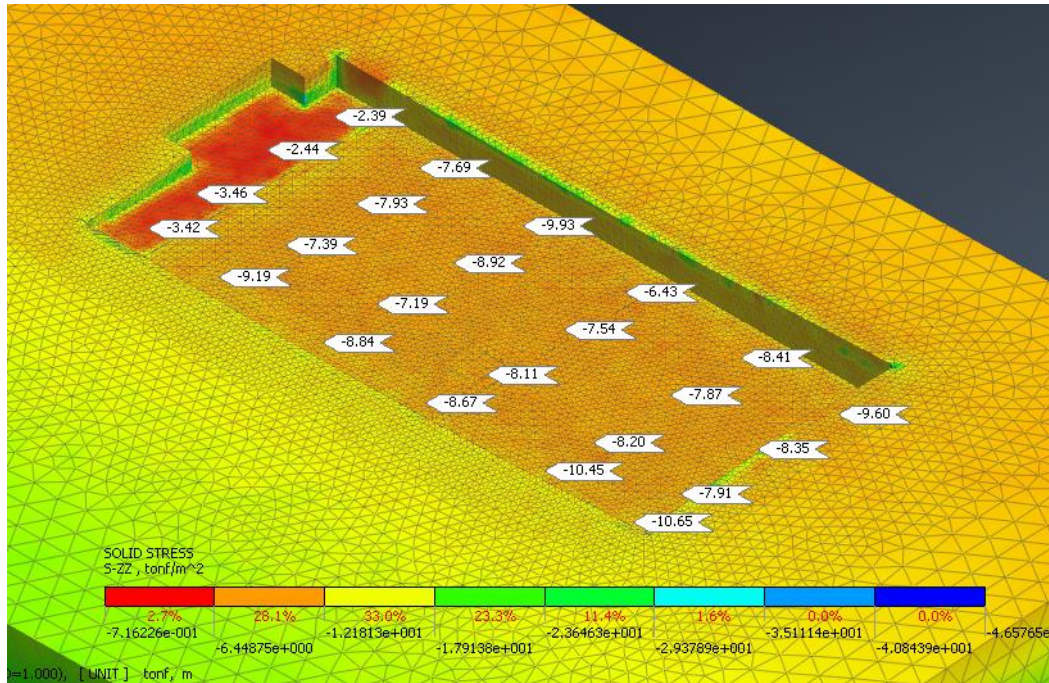


Nota. Esfuerzos de las vigas de cimentación del método directo NF -12.60 m fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El esfuerzo máximo debajo de las columnas es de 228.6 ton ubicada en la columna H3.

Figura 71

Esfuerzos en el suelo de cimentación método directo NF n-12.6 m



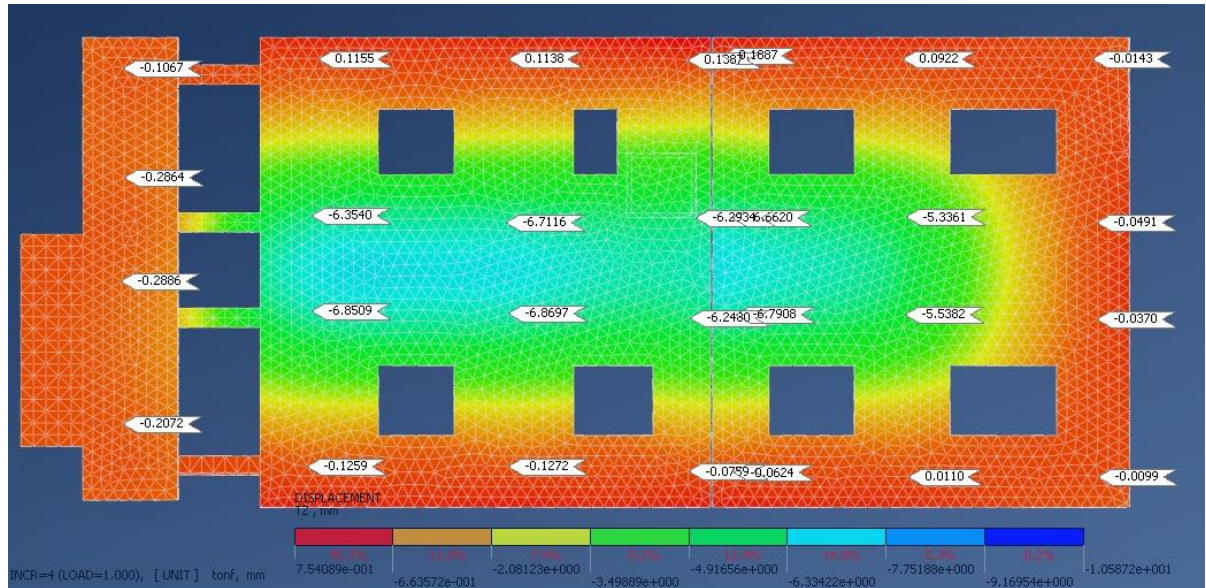
Nota. Esfuerzos del suelo de cimentación del método directo NF -12.60 m fin de construcción mallado. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

En este modelo también se aprecia que el esfuerzo máximo es de 10.65 ton/m² siendo inferior a las 11.0 ton/m².

7.3.10 Asentamientos elásticos método directo con NF n-12.6 m

Figura 72

Asentamientos elásticos bajo vigas de cimentación método directo con NF n-12.6 m



Nota. Asentamientos elásticos ubicados en las bases de las columnas del método directo con NF -12.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor asentamiento elástico encontrado bajo las columnas es de la columna H3 con un valor de 6.87 mm.

Tabla 25

Asentamientos elásticos en columnas método directo con NF n-12.6 m

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
F1	0.11
F2	0.11
F3	0.11
F5	0.14
F6	0.19
F7	0.09
F8	0.01
G1	0.29
G2	6.35

Ubicación	Asentamiento elástico en columnas mm
G3	6.71
G5	6.29
G6	6.66
G7	5.34
G8	0.05
H1	0.29
<u>H2</u>	<u>6.85</u>
<u>H3</u>	<u>6.87</u>
H5	6.25
H6	6.79
H7	5.54
H8	0.04
I1	0.21
I2	0.13
I3	0.13
I5	0.08
I6	0.06
I7	0.01
I8	0.01

Nota. Asentamientos elásticos de las columnas y la ubicación de cada una en los ejes. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Existen dos asentamientos con valores superiores al resto, se ubican en el eje H y entre los ejes 2 y 3 con valores de 6.85 y 6.87 mm respectivamente.

Tabla 26

Asentamientos diferenciales entre columnas método directo con NF n-12.6 m

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
F1-F2	0	16.0
F2-F3	0	16.0
F3-F5	0.02	16.0
F6-F7	0.09	15.2
F7-F8	0.07	16.0
G1-G2	6.1	16.0
G2-G3	0.4	16.0
G3-G5	0.4	16.0
G6-G7	0.4	15.2
G7-G8	5.3	16.0
H1-H2	6.6	16.0

Ubicación	Asentamiento diferencial mm	Asentamiento permitido L/500 mm
H2-H3	0	16.0
H3-H5	0.6	16.0
H6-H7	1.25	15.2
H7-H8	5.5	16.0
I1-I2	0.08	16.0
I2-I3	0	16.0
I3-I5	0.05	16.0
I6-I7	0.05	15.2
I7-I8	0	16.0
F1-G1	0.18	12.4
G1-H1	0.18	8.0
H1-I1	0.08	12.4
F2-G2	6.2	12.4
G2-H2	0.5	8.0
H2-I2	6.72	12.4
F3-G3	6.59	12.4
G3-H3	0.16	8.0
<u>H3-I3</u>	<u>6.74</u>	12.4
F5-G5	6.16	12.4
G5-H5	0.05	8.0
H5-I5	6.17	12.4
F6-G6	6.47	12.4
G6-H6	0.12	8.0
H6-I6	6.73	12.4
F7-G7	5.24	12.4
G7-H7	0.2	8.0
H7-I7	5.53	12.4
F8-G8	0.03	12.4
G8-H8	0.01	8.0
H8-I8	0.03	12.4

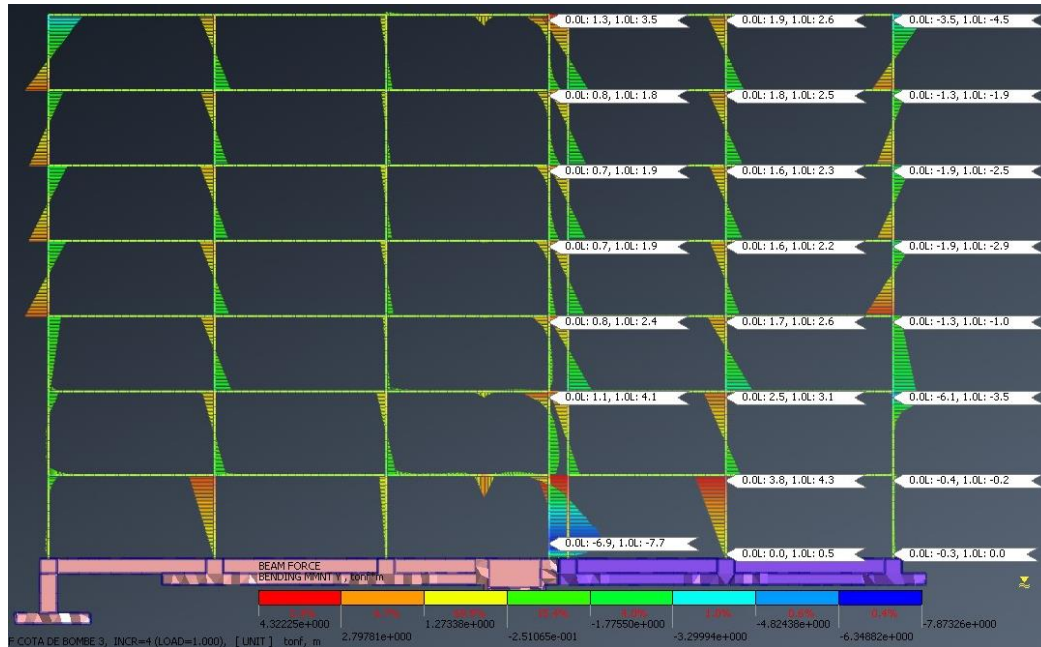
Nota. Asentamientos diferenciales entre columnas y su ubicación en cada eje, asentamientos máximos permisibles L/500 según NEC-15. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor asentamiento presentado en este modelo se ubica en el eje 3 entre los ejes H e I con un valor de 6.74 mm.

7.3.11 Momentos método directo con NF n-12.6 m en eje G

Figura 73

Momentos de columnas en pórtico eje H método directo con NF n-12.6 m

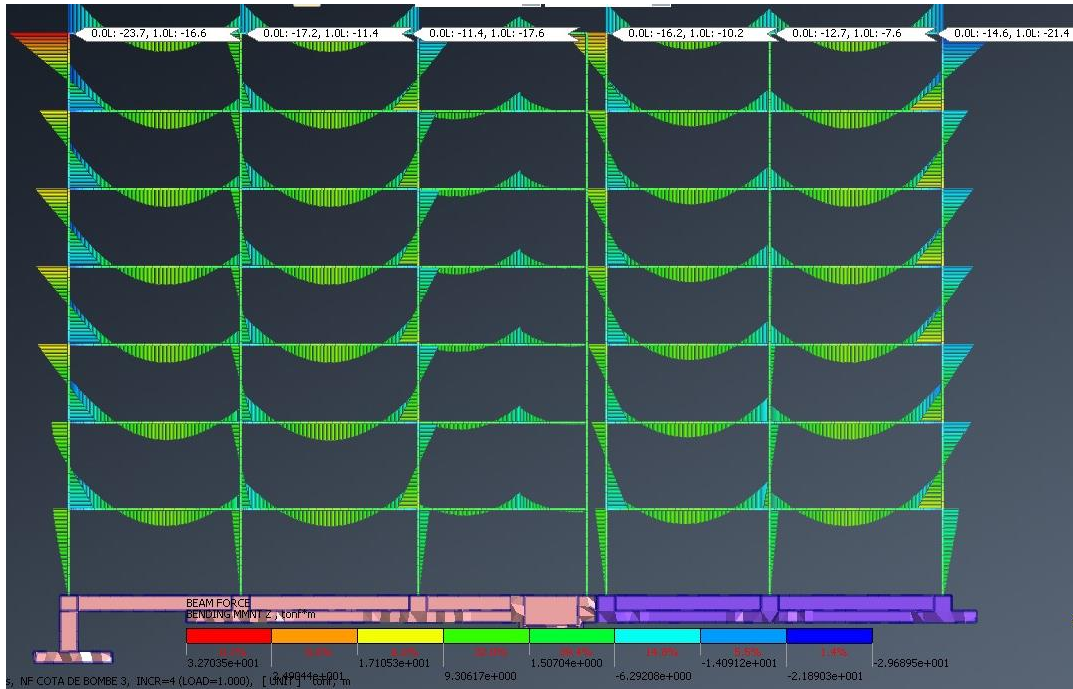


Nota. Momentos máximos en columnas del pórtico del eje H método directo NF -12.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El mayor momento presentado en el pórtico del eje H es de la columna 5 con un valor de 7.7 ton*m.

Figura 74

Momentos de vigas en pórtico eje H método directo con NF n-12.6 m

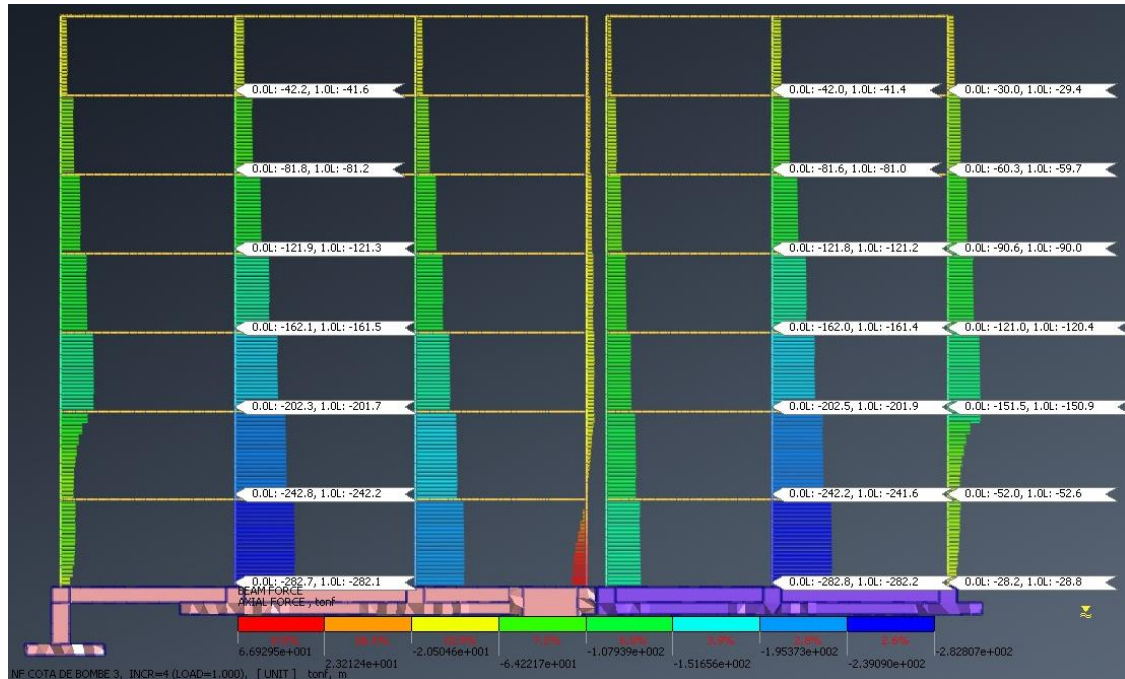


Nota. Momentos máximos en vigas del pórtico del eje H método directo NF -12.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

7.3.12 Axial método directo con NF n-12.6 m

Figura 75

Axiales de columnas en pórtico eje H método directo con NF n-12.6 m



Nota. Fuerzas axiales máximas en columnas del pórtico del eje H método directo NF -12.60 m fin de construcción. Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

El máximo axial del pórtico H se ubica en la columna del eje 2 en la base con un valor de 287.7 ton.

CAPÍTULO VIII

ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1 Comparación de resultados

Se realizó el análisis de la variación de las acciones, principalmente momentos sobre el pórtico y para el vano que presenta mayor asentamiento diferencial de acuerdo a los resultados de los modelos numéricos realizados. El incremento del momento flector se ha calculado tomando como referencia el momento flector del modelo del edificio considerando empotramiento en las bases, condición que generalmente se usa en el diseño estructural, es decir cada incremento de momento es a partir del modelo con empotramiento.

Tabla 27

Resumen de axiales, momentos en columnas y vigas de los métodos

Método	Momento en vigas Ton*m	Momento en columna Ton*m	Axial en columna Ton	Incremento de momento en vigas %
Empotrado	18.6	7.3	334.5	
Subestructura	18.4	7.5	333.0	-1.07
Directo	20.7	3.5	295.7	11.29
D. NF n-5.6	22.3	4.7	296.7	19.89
D. NF n-10.6	23.3	6.4	286.1	25.27
D. NF n-12.6	23.7	6.9	282.8	27.42

Nota. Resumen de momentos máximos en columnas y vigas, fuerzas axiales máximas en columnas y porcentaje del incremento presentado en vigas de cada método. Elaborado por: El autor.

Los softwares y los modelos de análisis estructural generalmente no contemplan la deformación de suelo como lo realiza el software Midas GTS NX. Por este motivo, se aprecia variaciones en los momentos con respecto a los otros modelos. Se recalca la proximidad de

resultados entre el modelo de cimentación empotrada y subestructura (teoría de Winkler-cimentación con resortes).

Tabla 28

Resumen de asentamientos diferenciales y máximos

	Ubicación	Se mm	Δ Se mm	Δ máx. permi mm
Subestructura	G6 – G7	16.2	2.8	15.2
Directo	G7 – G8	27.3	8.1	16.0
D. NF n-5.6	H6 – I6	5.17	5.12	12.4
D. NF n-10.6	H6 – I6	6.33	6.27	12.4
D. NF n-12.6	H3 – I3	6.87	6.74	12.4

Nota. Asentamientos máximos en cada método la ubicación donde se presentan, el asentamiento diferencial y su máximo permisibles según NEC-15. Elaborado por: El autor.

Existen limitaciones en los asentamientos diferenciales y si estos son mayores producen ciertas consecuencias como fisurado o agrietamiento tanto en elementos estructurales como arquitectónicos, en la tabla 8 podemos observar las limitaciones por tipo de movimiento, factor limitativo y un asentamiento máximo en función de la distancia entre columnas adyacentes.

El asentamiento máximo que podrían soportar la mampostería y acabados de revoco sobre paredes con referencia a la tabla 8, es de 0.001 ℓ , siendo el valor máximo de 8 mm para el vano analizado, en el método directo con NF -12.6 m se ha determinado un asentamiento de 8.1 mm superando el máximo permitido por lo tanto se corrobora el efecto identificado, es decir, el fisurado en la mampostería exterior de la edificación ubicadas cerca a la columna G8 y alrededores.

Figura 76

Fisurado mampostería exterior Bloque G



Nota. Fisurado de los acabados de la edificación alrededor de la columna G8. Elaborado por: El autor.

CONCLUSIONES

Los escenarios propuestos fueron lo más aproximados a la realidad del suelo de cimentación del Bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana.

La cimentación de la estructura trabaja adecuadamente bajo el valor admisible de q_a del suelo de cimentación calculado,

Las columnas internas de la edificación presentan asentamientos diferenciales, pero manteniéndose dentro de los valores permisibles del q_a , descritos en la norma vigente NEC-15, para esta edificación sus asentamientos máximos para las diferentes luces entre las columnas de cada pórtico son de 12.4 mm, 15.2 mm y 16 mm.

En el edificio del bloque G ha evidenciado daños visibles a la mampostería por asentamientos diferenciales, en la Tabla 8 se describe el asentamiento diferencial máximo que pueden soportar varios elementos, siendo $0.001 \cdot l$ para mamposterías, es decir un asentamiento máximo de 8 mm. En el sector de las fisuras de acuerdo con el modelo numérico considerando al suelo como un medio continuo (método directo) y NF-12.6 m, el asentamiento diferencial máximo es 8.1 mm siendo aceptable para este caso de estudio.

La variación del nivel freático influye en los asentamientos elásticos y por lo tanto diferenciales de la edificación, la estructura tiende a desarrollar asentamientos diferenciales mayores cuando baja el nivel freático como se observa en los modelos del método directo con variación de NF, dado que los esfuerzos efectivos aumentan.

Si el nivel freático es inferior al analizado como condición límite (NF -12.6 m) el incremento de esfuerzos efectivos bajo el suelo de cimentación (cota cimentación: -10.6 m. a partir de la superficie) no genera incrementos de asentamientos elásticos y diferenciales dado que el

bulbo de presiones se expande, por lo que se concluye que descensos de NF mayores no provocarán más daños de los existentes a la edificación.

Dado que el comportamiento del suelo de cimentación se encuentra en el rango lineal elástico se presume que descensos de NF generan aumento de asentamientos y ascensos del NF generan disminución de asentamientos, lo que se traduce en cambios cíclicos de asentamientos y acciones sobre los elementos estructurales conforme aumenta o disminuye el NF.

Las variaciones cíclicas del nivel freático generarán variaciones en las acciones que se presentan en los elementos estructurales, tales como momentos flectores, esfuerzos cortantes, entre otros. Este efecto podría generar micro fisuras y en un tiempo de exposición prolongado falla por fatiga del hormigón.

Se descartó la presencia de asentamientos por consolidación dado el tipo de material (CL/ML) y dado que el incremento de esfuerzos efectivos, condición necesaria para el desarrollo de este tipo de asentamientos, es nulo.

El modelo de subestructura fue el menos preciso ya que la suposición de que el suelo puede representarse con elementos tipo resorte trabajando en cimentaciones de gran área, no considera las limitaciones de la teoría de Winkler produciendo variación en los resultados de análisis de carga – asentamiento en comparación con los modelos del método directo.

El incremento presentado en los momentos positivos de las vigas con respecto a un modelo empotrado representa que la estructura trabajo en un 27.42% adicional al que probablemente fue diseñado.

El análisis de cargas para el cálculo de los asentamientos elásticos se ejecutó de acuerdo con la norma vigente NEC-15, con el 50% de la carga viva, ya que la edificación no trabajaría todo

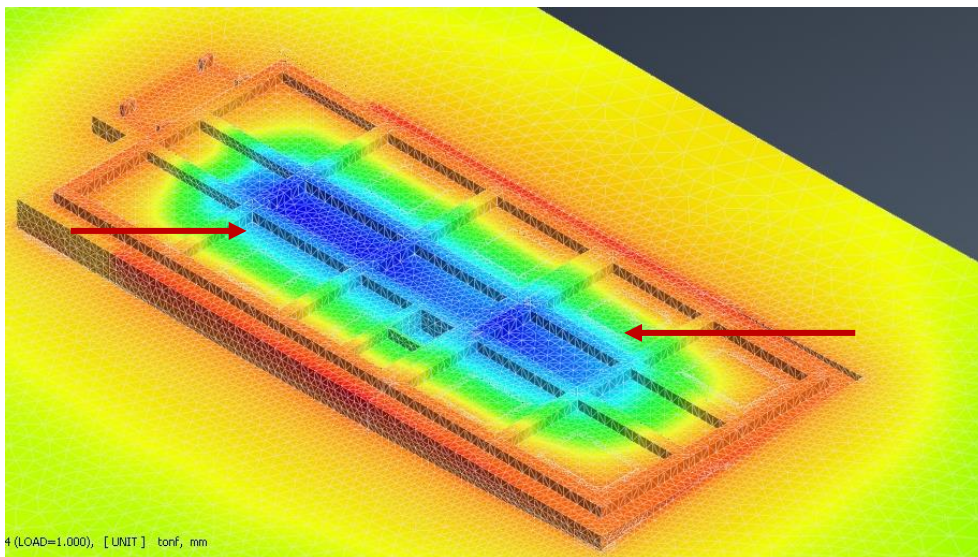
el tiempo con 100 % de la carga viva, sin embargo, los asentamientos elásticos podrían ser mayores considerando una mayor aplicación de carga viva.

RECOMENDACIONES

Se propone ejecutar inyecciones de cemento bajo la cimentación de la estructura donde se presentan mayores asentamientos diferenciales, en las zonas de color azul, que representan los mayores asentamientos. Esto consolidará el suelo y disminuirá los asentamientos diferenciales cíclicos por la variación del NF.

Figura 77

Propuesta de inyecciones de hormigón en cimentación



Nota. Área de las inyecciones de hormigón para controlar los asentamientos diferenciales.

Elaborado por: El autor a través (MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software, 2019).

Una forma menos invasiva de controlar los asentamientos diferenciales presentados es con un adecuado control y monitoreo del nivel freático, de tal manera de evitar fluctuaciones drásticas en toda la vida útil de la estructura. Actualmente el edificio cuenta con un sistema de bombeo que abate el nivel freático, sin embargo, no existe un monitoreo y control de datos por lo que se recomienda realizar un plan de auscultación del NF.

Se sugiere un análisis geotécnico de la cimentación ante la acción de cargas sísmicas para un estudio más completo con la inclusión de modelos constitutivos de segundo orden y un análisis dinámico tiempo historia del suelo.

Se recomienda realizar un análisis de los elementos de hormigón armado que presentan un incremento de acciones, tales como momentos flectores, esfuerzos cortantes entre otros, con la finalidad de verificar la demanda y resistencia.

REFERENCIAS

- Avilés Ponce, L. R. (2013). *Caracterización geológica-geotécnica del sur de la ciudad de Quito*. [Tesis de pregrado]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2752>
- Badillo, J. (1999). *Mecánica de suelos Tomo I Fundamentos de la mecánica de suelos*. Obtenido de https://www.academia.edu/38530731/Mec%C3%A1nica_de_suelos_Tomo_I_Eulalio_Ju%C3%A1rez_Badillo_y_Alfonso_Rico_Rodr%C3%ADguez
- Bowles, J. E. (1982). *Propiedades geofísicas de los suelos*. McGRAW-HILL. Obtenido de https://www.academia.edu/36589235/Propiedades_Geofísicas_de_Los_Suelos_Bowles_
- Bowles, J. (s.f.). *Foundation analysis and desing*. McGraw-Hill. Obtenido de http://civilcafe.weebly.com/uploads/2/8/9/8/28985467/foundation_analysis_and_design-_bowles_5ed_.pdf
- Das, B. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones* (Cuarta ed.). International Thomson. Obtenido de https://www.academia.edu/18553128/Principios_De_Ingenier%C3%ADa_De_Cimentaciones_Braja_M_Das_4ta_Edici%C3%B3n_
- De Miguel, J. L. (08 de febrero de 2016). Grietas en los edificios. Obtenido de <https://arquiscopio.com/grietas-en-los-edificios/>
- Delgado Vargas, M. (1996). Ingeniería de Fundaciones. *Análisis geomecánico de fundaciones compensadas*. Escuela Colombia de Ingeniería. Obtenido de https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/1_encuentro/analisis_geomecanico_undaciones_compensadas.pdf

Departamento de fiscalización de la UPS. (2010). *Archivo mensual fiscalización Bloque G*.

Engineers, U. A. (2005). *Stability Analysis of Concrete Structures*. U.S. Army Corps of Engineers. Obtenido de <https://usace.contentdm.oclc.org/digital/collection/p16021coll9/id/553/>

Geotecnia.ONLINE. (02 de 06 de 2020). *Límites de Atterberg*. Obtenido de <https://www.diccionario.geotecnia.online/palabra/limites-de-atterberg/>

Geoxnet. (04 de Agosto de 2019). *Clasificación de suelos*. (Geoxnet, Ed.) Obtenido de <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>

Gonzáles Moya, I. (s.f.). *Recomendaciones para el diseño de cimentaciones-nueva alternativa*. Informe Técnico de Mecánica de Suelos. Recuperado el Noviembre de 2010

González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall. Obtenido de <https://civilmas.net/libros/ingenieria-geologia-gonzalez-de-vallejo/>

Guerron Andrade, A. M., & Tacuri Silva, L. J. (2012). *Análisis de la influencia del porcentaje de finos en la capacidad de carga admisible de la cangahua en la ciudad de Quito, Ecuador*. [Tesis de pregrado], Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6166>

Hunt. (1984). *Propiedades comunes de los suelos no cohesivos*. Instituto Geológico y Minero de España. Obtenido de https://issuu.com/josevina/docs/manual_de_taludes_icme/142

Hurtado, D. I. (2010). *Diseño de Cimentaciones* (Primera ed.). Instituto de la construcción y gerencia. Obtenido de <http://www.jorgealvahurtado.com/files/DisenoCimentacionesAlva.pdf>

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales Universidad Politécnica Salesiana. (2009). *Estudio de mecánica de suelos*. Quito.

- Logacho Tapia, B. W., & Obando Castro, C. A. (2020). *Correlacion del módulo de elasticidad obtenida con el ensayo triaxial UU y los datos del ensayo de corte directo UU en la cangahua del norte de la ciudad de Quito*. [Tesis de pregrado], Universidad Politécnica Salesiana.
- López Rincon, I., Legorreta Cuevas, I., & Rivera Constantino, D. (2020). *Capacidad de carga en Suelos*. Obtenido de <https://docplayer.es/31800792-Capacidad-de-carga-en-suelos-1.html>
- Metro de Madrid, S. (2012). *Geotécnia del Corredor y de Estructuras Anexo N°7*.
- MIDAS Modeling, Integrated Design & Analysis Software. (2019). *Manual de Usuario Midas GTS-NX*.
- Monge, R. M. (2005). *Análisis de asentamiento de losas de fundación sobre rellenos de suelo colapsable mediante la aplicación de un modelo físico*. Universidad de Costa Rica. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/1489>
- Moya Andino, G. A. (2015). *Estudio yanálisis del comportamiento estructural de cimentaciones superficiales por efectos de consolidación del suelo de fundación, según la metodología propuesta por la norma ecuatoriana de la construcción*. [Tesis de pregrado]. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11738>
- Moya, I. F. (2010). *Recomendaciones para el diseño de cimentaciones nueva alternativa*. Informe Técnico de Mecánica de Suelos, Quito. Recuperado el Noviembre de 2010
- Naranjo Aguay, H. (2013). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y método convencional [Tesis de pregrado]*. Universitaria Abya-Yala/UPS. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6133>
- (2015). *NEC Norma Ecuatoria de la Construcción*. Ecuador.

- Peck, Hanson, & Thornburn. (1974). *Foundation Engineering*. Jhon Wiley & Sons. Obtenido de <https://doku.pub/download/foundation-engineering-by-ralph-bpeck-walter-ehanson-thomas-h-thornburnpdfpdf-408rx6r7nvlx>
- Plaza, I., Valverde, I., & Baldeón, I. (2016). *Estudios Complementarios para el Detalle de Ingenierías de la Línea Roldos-Ofelia*. Geológico-Geotécnico, Empre Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas EPMMOP. Recuperado el 2016, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Sesiones%20del%20Concejo/2017/Sesi%C3%B3n%20Extraordinaria%202017-09-27/I.%20%20%20Autorizaci%C3%B3n%20de%20cr%C3%A9dito/EPMMOP%20-%20Quito%20Cables/Inf.%20Entornos%20Urbanos.pdf
- R, D. (2000). *Geotechnical and foundation engineering desing and constrution [Diseño y construcción de ingeniería geotécnica y de cimentaciones]*. Mc Graw Hill.
- Rodriguez, J. (2001). *Analisis de comportamiento de limos de baja plasticidad*. Universidad de Costa Rica.
- S.A, M. C. (s.f.). *Ensayo Triaxial*. Madrid: Poligono Industrial Los Ángeles. Obtenido de https://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/22_0154.pdf
- Salas Vazquez, C. A., & Caldas Calle, A. X. (2010). *Diseño de la losa de cimentación de un tanque de almacenamiento de agua ubicado en la Universidad de Cuenca: Criterio de estabilidad por fallo en la base y deformación (Asentamiento Absoluto)*. [Tesis de pregrado], Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/768>
- Sánchez Cepillo, D. I. (2011). *Diseño óptimo de laminados en materiales compuestos, aplicación del MEF y el método de las superficies de respuesta*. [Tesis de masterado], Escuela

- Superior de Ingenieros, Sevilla. Obtenido de
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70238/>
- Universidad Europea de Madrid. (2003). *Compresibilidad de Suelos. Teoría de la Consolidación*. Obtenido de
<https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/1.%20Tema%201%20Consolidacion.pdf>
- Valverde B, J., & Vasconez S, R. F. (1997). Determinación analítica de la capacidad de carga en base al S.P.T. *III Congreso de Suelos Trópico Andinos*. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/445507050/Capacidad-de-carga-RV>
- Velasco, L. G. (2015). Calculo de asentamientos. *Fundaciones*. Cauca. Obtenido de
https://www.academia.edu/40558770/Calculo_de_asentamientos_Cuarta_Parte_Fundaciones
- Victor, & Yepez Piqueras, V. (12 de noviembre de 2019). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/teoria-de-la-elasticidad/>
- Wikipedia. (20 de Febrero de 2020). Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- Yépez, S. E., & Aguirre, V. A. (2019). *Manual de Laboratorio para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los suelos*. Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17839?mode=full>
- Zapata, I. J. (2019). *Breve resumen del Coeficiente de Balasto*. Obtenido de
<https://estructurando.net/2015/10/26/breve-resumen-del-coeficiente-de-balasto/>